

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PRISCILA MARIA MACHADO DAL MORO

**DETERMINAÇÃO DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO
AERONÁUTICO NAS PROXIMIDADES DO AEROPORTO
INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ, FLORIANÓPOLIS/SC**

Florianópolis

2016

PRISCILA MARIA MACHADO DAL MORO

**DETERMINAÇÃO DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO
AERONÁUTICO NAS PROXIMIDADES DO AEROPORTO
INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ, FLORIANÓPOLIS/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina como
parte dos requisitos para obtenção do Título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Erasmo Felipe Vergara
Miranda.

Florianópolis

2016

Priscila Maria Machado Dal Moro

**DETERMINAÇÃO DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO
AERONÁUTICO NAS PROXIMIDADES DO AEROPORTO
INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ, FLORIANÓPOLIS/SC**

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Civil, e
aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Santa Catarina.

Florianópolis, 25 de novembro de 2016.

Prof. Luiz Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Erasmo Felipe Vergara Miranda, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Júlio Alexandre de Matheucci e Silva Teixeira, Dr.
Universidade do Extremo Sul Catarinense

RESUMO

Estudos recentes têm crescentemente evidenciado que a exposição de populações ao ruído ambiental está fortemente relacionada às mais variadas doenças que atingem não somente o sistema auditivo humano, como também podem causar, além de incômodo e perturbação do sono, problemas que afetam diretamente a qualidade de vida dessas populações. Estes estudos revelam ainda que, para os mesmos níveis de exposição sonora, o ruído aeronáutico é aquele que apresenta maior grau de incômodo associado. Diversos são os órgãos que estabelecem diretrizes que dispõem sobre o ruído aeronáutico, e várias são as normas e legislações que indicam parâmetros de aceitabilidade para ruído ambiental ou urbano. O presente trabalho teve por objetivo determinar a população exposta ao ruído aeronáutico nas proximidades do Aeroporto Internacional Hercílio Luz (SBFL), localizado em Florianópolis-SC, e avaliar se os níveis de exposição sonora calculados estão em conformidade com as legislações e normas vigentes que deliberam sobre ruído ambiental. Foram feitas duas avaliações distintas, uma de acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC), considerando-se os municípios de Florianópolis e São José, e outra segundo a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu, concentrando-se nos bairros Carianos e Ressacada, localizados próximos à pista 14-32 do aeroporto SBFL. Seguindo o RBAC 161 de 2013, foi constatado que existem aproximadamente 11.100 pessoas em Florianópolis e 1.500 em São José, totalizando 12.600, expostas a no mínimo 55 dB(A) de nível de pressão sonora dia-noite, L_{dn} , e aproximadamente 350 pessoas em Florianópolis expostas à um nível L_{dn} de no mínimo 65 dB(A). Foi observado que a maior parte das áreas expostas ao ruído aeronáutico em ambos os municípios apresentam níveis de ruído acima dos recomendados pela norma NBR 10151. Sob o enfoque da Diretiva Europeia, foi estimado que aproximadamente 2.300 pessoas residentes nos bairros Carianos e Ressacada estão expostas a no mínimo 55 dB(A) de nível de pressão sonora dia-anoitecer-noite, L_{den} , e em torno de 700 pessoas submetidas a no mínimo 50 dB(A) de nível de pressão sonora noite, L_{night} . Tomando como base a lei municipal que trata de ruído urbano em Florianópolis, CMF N° 003/99, conclui-se que somente as áreas mistas centrais (AMC) ou de serviço (AMS) apresentavam níveis de exposição sonora dentro dos valores recomendados.

Palavras-chaves: Ruído aeronáutico, nível de exposição sonora da população, mapa de ruído, aeroporto SBFL.

RÉSUMÉ

Études récentes ont mis en évidence croissant que l'exposition des populations au bruit dans l'environnement c'est fortement liée aux plus variées maladies qui frappent non seulement le système auditif chez l'homme, comme peuvent également causer, en plus de l'ennui et e la perturbation du sommeil, problèmes qui affectent directement la qualité de vie de ces populations. Ces études ont révélé encore que, pour les mêmes niveaux d'exposition sonore, le bruit aéronautique c'est celui que présent le plus élevé degré d'ennui associé. Plusieurs sont les organes qu'établissent directives qui disposent sur le bruit aéronautique, et plusieurs sont les normes e législations qu'indiquent paramètres d'acceptabilité pour le bruit ambient ou urbain. Le présent travail a eu pour objectif déterminer la population exposée au bruit aéronautique dans les proximités de l'Aéroport International Hercílio Luz (SBFL), localisé en Florianópolis-SC, et aussi évaluer si les niveaux d'exposition sonore calculés sont en conformité avec les législations et normes en vigueur qui statuent sur bruit dans l'environnement. Il a été fait deux évaluations distinctes, une en accord avec le Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC), en se considérant les villes de Florianópolis et São José, et l'autre selon la Directive 2002/49/CE du Parlement Européen, en se concentrant sur les quartiers Carianos e Ressacada, localisés en proximité avec la piste 14-32 de l'aéroport SBFL. En suivant le RBAC 161 de 2013, il a été constaté qu'il existe environ 11.100 personnes en Florianópolis e 1.500 en São José, 12.600 personnes au total, exposées au minimum 55 dB(A) de niveau de pression sonore jour-nuit, L_{dn} , et environ 350 personnes en Florianópolis exposées au niveau L_{dn} minimum de 65 dB(A). Il a été observé, dans les deux villes, que la plupart des zones exposées au bruit aéronautique présentent niveaux de bruit ci-dessus des niveaux recommandés pour la norme NBR 10151. Sur le regard de la Directive Européenne, il a été estimé qu'environ 2.300 personnes résidents dans les quartiers Carianos e Ressacada sont exposées au minimum 55 dB(A) de niveau de pression sonore jour-soir-nuit, L_{den} , et environ 700 personnes sont soumises au minimum 50 dB(A) de niveau de pression sonore nuit, L_{night} . En se basant dans la loi municipale qui traite sur le bruit urbain en Florianópolis, CMF N° 003/99, il a été conclu que seulement les zones mixtes centrales (AMC) ou de service (AMS) présentaient niveaux d'exposition sonore en accord avec les valeurs recommandés.

Mots-clés : Bruit aéronautique, niveau d'exposition sonore de la population, carte de bruit, aéroport SBFL.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha mãe, Onira, pelo apoio durante toda a minha caminhada no curso de Engenharia Civil – e mesmo antes, mas principalmente durante a elaboração do presente trabalho.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer ao professor Roberto Lamberts, por ter me guiado e me apresentado ao meu orientador de TCC, professor Erasmo Felipe Vergara Miranda.

Ao meu orientador, merecido agradecimento, não somente por ter me orientado desde o início, me ajudando a enriquecer meu trabalho com seu conhecimento e experiência, mas também pelo ser humano e professor ímpar que é.

Agradeço também à equipe do LVA pelos conselhos construtivos, especialmente a Juan Martín Aponte, que me forneceu material indispensável para elaboração do meu trabalho.

Finalmente agradeço à Biblioteca do IPUF, ao Centro de Geoprocessamento de Florianópolis e à Biblioteca do IBGE, pelos importantes materiais concedidos.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANCAB – Associação Nacional de Concessionárias de Aeroportos Brasileiros
AEDT – *Aviation Environmental Design Tool*
AIP – *Aeronautical Information Publication*
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
CCR – Curva de Contorno de Ruído
EPA – *Environmental Protection Agency*
END – *Environmental Noise Directive*
EPNL – *Effective Perceived Noise Level*
FAA – *Federal Aviation Administration*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO – *International Civil Aviation Organization*
INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPUF – Instituto de Planejamento Urbano e Florianópolis
LVA – Laboratório de Vibrações e Acústica
OMS – Organização Mundial da Saúde
PEZR – Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PMF – Prefeitura Municipal de Florianópolis
PZR – Plano de Zoneamento de Ruído
RBAC – Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SBFL – Aeroporto Internacional Hercílio Luz
SID – *Standard Instrument Departure*
SN – Sem Número
STAR – *Standard Instrument Arrival*

LISTA DE SÍMBOLOS

L_{den} – *Day-evening-night level*

L_{dn} – *Day-night level*

L_{eq} – *Equivalent level*

L_{night} – *Night level*

L_p – *Nível de pressão sonora*

L_w – *Nível de potência sonora*

DI_θ – *Diretividade*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2.	OBJETIVOS	11
1.2.1.	Objetivo Geral	11
1.2.2.	Objetivos específicos.....	11
1.3.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	12
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.	SOM E RUÍDO	13
2.2.	RUÍDO E SAÚDE	13
2.2.1.	Danos do desenvolvimento cognitivo	14
2.2.2.	Hipertensão arterial	15
2.2.3.	Incômodo.....	15
2.2.4.	Perturbação do sono	16
2.2.5.	Problemas psicológicos	16
2.3.	RUÍDO AMBIENTAL.....	17
2.3.1.	Propagação sonora ao ar livre	18
2.3.2.	Mecanismos de atenuação/amplificação sonora ao ar livre	18
2.4.	RUÍDO AERONÁUTICO	23
2.4.1.	Métricas acústicas do ruído aeronáutico	23
2.5.	LEGISLAÇÕES SOBRE RUÍDO	25
2.5.1.	Plano de Zoneamento de Ruído.....	26
2.5.2.	Normas brasileiras sobre ruído.....	27
2.5.3.	Normas brasileiras sobre ruído aeronáutico	28
2.5.4.	Legislação de Florianópolis sobre ruído	28
2.5.5.	Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu	29
3.	AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ (SBFL).....	31
3.1.	HISTÓRIA DO SBFL	31
3.2.	SITUAÇÃO ATUAL DO SBFL.....	32
3.3.	EXPANSÃO DO SBFL	34
4.	METODOLOGIA	37
4.1.	MODELAGEM DAS CURVAS DE CONTORNO DE RUÍDO	37
4.1.1.	Parâmetros de entrada para geração das CCR do SBFL	38

4.2.	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS EXPOSTAS AO RUÍDO.....	40
4.3.	DEFINIÇÃO DA DENSIDADE DEMOGRÁFICA DOS BAIRROS EXPOSTOS AO RUÍDO	42
4.3.1.	Método 1: geoprocessamento da PMF	42
4.3.2.	Método 2: QGIS	43
4.4.	QUANTIFICAÇÃO DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO	43
4.5.	QUANTIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EXPOSTAS AO RUÍDO.....	44
5.	RESULTADOS	47
5.1.	DEFINIÇÃO DA DENSIDADE DEMOGRÁFICA	49
5.2.	MÉTODO RBAC.....	49
5.2.1.	Comparação dos resultados com a NBR 10151	51
5.3.	MÉTODO DIRETIVA 2002/49/CE.....	55
5.3.1.	Comparação dos resultados com a CMF N° 003/99.....	61
6.	CONCLUSÃO	62
6.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
6.2.1.	Estimar a exposição da população ao ruído aeronáutico usando outra metodologia	63
6.2.2.	Realizar monitoramento de ruído do aeroporto SBFL	64
6.2.3.	Verificar perda na transmissão das fachadas das edificações próximas ao SBFL	64
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	APÊNDICE A – Áreas mensuradas utilizando-se QGIS	69
	APÊNDICE B – Numeração de quadras para quantificar edificações nos bairros Carianos e Ressacada	83
	APÊNDICE C – Número de edificações residenciais por quadra em cada faixa de nível de exposição sonora nos bairros Carianos e Ressacada.....	86
	ANEXO A – Quadro E-2 da RBAC 161 (2013).....	90

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

O Escritório Regional da Organização Mundial da Saúde (OMS) na Europa publicou em 2011 um documento que apresenta as conclusões e recomendações de estudos desenvolvidos pela OMS desde os anos 1990 a respeito dos encargos das doenças causadas pelo ruído ambiental. Neste documento é apresentada a relação entre o ruído ambiental e alguns efeitos nocivos como doenças cardiovasculares, disfunção cognitiva em crianças, distúrbios do sono, zumbido e incômodo (WHO, 2011).

O ruído aeronáutico é um tipo de ruído ambiental que apresenta uma problemática grande associada a ele, pois pode alterar a qualidade de vida da população em torno do aeroporto, bem como restringir suas operações, devido ao ruído excessivo sentido pela vizinhança. Exemplo nacional disso vem a ser o caso do aeroporto internacional de Congonhas em São Paulo, que só tem permissão para operar durante o dia (NABINGER, 2005).

No presente trabalho de conclusão de curso será avaliada a exposição ao ruído aeronáutico da população em edificações habitacionais em torno do Aeroporto Internacional Hercílio Luz (SBFL), localizado em Florianópolis-SC. A avaliação será embasada nas Curvas de Contorno de Ruído (CCR), geradas por programa computacional adequado, e comparar-se-ão os resultados obtidos com as legislações e normativas em vigor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo elementar dimensionar o número de pessoas em edificações habitacionais expostas ao ruído aeronáutico produzido pelas operações das aeronaves do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, em Florianópolis, SC.

1.2.2. Objetivos específicos

São objetivos específicos do presente trabalho:

1. Definir as áreas expostas ao ruído aeronáutico por meio das Curvas de Contorno de Ruído (CCR);
2. Definir a densidade demográfica dos bairros expostos ao ruído aeronáutico, com base nos dados populacionais do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);

3. Quantificar a população exposta ao ruído;
4. Verificar se os níveis de exposição sonora obtidos atendem as legislações e normas vigentes que tratam tanto de ruído ambiental ou urbano, como de ruído aeronáutico especificamente.

1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A primeira limitação diz respeito às Curvas de Contorno de Ruído. As CCR utilizadas no presente trabalho foram geradas por programa computacional adequado. Contudo, além destas terem certas limitações – as quais serão devidamente expostas no Capítulo 4, elas também não foram validadas por medições em campo.

A segunda limitação é sobre os dados populacionais. Os dados do Censo Demográfico de 2010 realizado pelo IBGE (Censo IBGE 2010) utilizados no presente trabalho, como o título sugere, são referentes ao ano de 2010, enquanto que as CCR foram geradas utilizando dados de operação do aeroporto Hercílio Luz referentes ao mês de setembro de 2015. Tais dados populacionais foram escolhidos e utilizados, pois foram os mais recentes e confiáveis encontrados.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está desenvolvido em 5 capítulos, além da Introdução. No primeiro deles, Capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica de livros, artigos, trabalhos, legislações e normativas que discorrem e discutem desde definições básicas sobre ruído, passando pela problemática associada a ele, e finalizando com as questões regulamentadoras.

No Capítulo 3 é apresentado o Aeroporto Internacional Hercílio Luz, mostrando sua história, suas características físicas atuais e sua capacidade de operação, e a questão do processo de expansão do aeroporto.

A metodologia utilizada neste trabalho é apresentada no Capítulo 4. Nele estão descritas as premissas adotadas na elaboração das CCR, bem como a metodologia aplicada para definir as áreas expostas ao ruído, calcular a densidade populacional dos bairros, e dimensionar a população exposta ao ruído.

Os resultados obtidos e as análises e discussões relacionadas a eles estão expostos no Capítulo 5.

No capítulo seguinte, Conclusão, são feitas as considerações finais e são apresentadas sugestões para realização de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SOM E RUÍDO

O som de acordo com Bistafa (2011), pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, sendo gerado por meio das vibrações das partículas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes. O ruído é um som indesejável, uma sensação incômoda.

A definição do que é um som indesejável, portanto, um ruído, pode ser mais complicada do que possa parecer. Complicada, pois o que é indesejável para uma pessoa, pode não ser para outra. Esta classificação de desejável/indesejável varia de pessoa para pessoa basicamente por duas razões:

1. Cada ser humano reage diferente quando exposto a uma determinada situação, ou mais especificamente a um determinado som. Por exemplo, para um jovem ir a uma festa com música extremamente alta, onde é necessário quase gritar para se comunicar com os amigos, é algo extremamente normal; já para uma pessoa idosa a mesma festa com música extremamente alta seria provavelmente algo incômodo.

2. O ambiente e o contexto no qual a pessoa está inserida são fatores que podem ser decisivos na avaliação pessoal do que é indesejável ou não como som. Por exemplo, uma pessoa está em uma ilha deserta e ouve o som de um helicóptero sobrevoando a ilha: se a pessoa morar nessa ilha provavelmente se incomodará, pois ali é sua morada, e uma morada tranquila; porém se a pessoa estiver perdida nesta ilha ela ficará contente com o som produzido pelas hélices do helicóptero, pois anunciam que o resgate está a caminho.

De uma maneira geral, quando em níveis suficientemente elevados, os ruídos – que são sons indesejáveis –, causam diversos efeitos também indesejáveis no ser humano (MESTRE & WOOTEN, 1980). Estes efeitos serão discutidos no capítulo seguinte.

2.2. RUÍDO E SAÚDE

As maneiras como o ruído pode afetar negativamente a qualidade de vida e a saúde das pessoas são inúmeras. Na literatura mundial é possível encontrar várias pesquisas e estudos a respeito do tema.

Nesta revisão não será detalhada a reação do ser humano ao som, nem as características do sistema auditivo humano. Contudo, se faz necessário destacar que a faixa de

audiabilidade de um ser humano jovem e saudável está compreendida entre as frequências de 20 Hz – limiar da audiabilidade¹, e 20 kHz – limiar da dor².

Reynolds (1981) cita que para níveis de pressão sonora por volta de 120 dB tem-se o limiar da sensibilidade³ e que para níveis um pouco abaixo de 140 dB o limiar da dor é alcançado. Em outras palavras, quanto mais elevado o nível de pressão sonora a que o indivíduo está exposto, maiores as chances de danos serem causados ao sistema auditivo.

Perda da audição induzida por ruído e zumbido são os problemas auditivos causados pela exposição continuada ao ruído (BISTAFA, 2011). A perda de audição pode ser do tipo temporária ou permanente. A primeira delas, como o nome sugere é temporária e, portanto, reversível, originada após a exposição a um ruído intenso. A perda permanente é irreversível e pode ocorrer tanto após a exposição a um ruído muito intenso, como um tiro, ou mesmo com a exposição prolongada ao ruído (LONG, 2006). O zumbido, por sua vez, é definido pela OMS como a incapacidade de distinguir o silêncio e é um indicativo de que a perda de audição permanente já ocorreu (WHO, 2011).

Além de problemas auditivos comentados, a exposição ao ruído pode conduzir a outras consequências, entre elas pode-se citar: incômodo, interferência na comunicação oral, interferência na concentração, perturbação do sono, estresse, problemas psicológicos, hipertensão arterial, entre outros. Em crianças, o ruído pode causar também prejudicar o desenvolvimento cognitivo (CLARK & STANSFELD, 2011).

Nas seções seguintes serão brevemente apresentados os problemas não-auditivos considerados mais recorrentes em relação ao ruído ambiental, com enfoque no ruído aeronáutico.

2.2.1. Danos do desenvolvimento cognitivo

Durante muitos anos houve a suspeita de que o aprendizado e a memória das crianças eram negativamente afetados pelo ruído. Essas suspeitas foram confirmadas por mais de 20 estudos: estudos epidemiológicos relatam efeitos de exposição crônica ao ruído e estudos experimentais relatam exposição aguda ao ruído. As habilidades afetadas envolvem o processamento central e a linguagem, como a compreensão escrita, memória e atenção. É sabido que a exposição durante períodos críticos da aprendizagem escolar podem

¹ Frequência sonora a partir da qual é possível começar a escutar algum som.

² Frequência sonora ou nível de pressão sonora a partir da qual não um som torna-se inaudível.

³ Nível de pressão sonora a partir do qual um som é considerado muito incômodo.

potencialmente prejudicar o desenvolvimento e ter um efeito a longo prazo na capacidade de aprendizado (WHO, 2011).

Clark & Stansfeld (2011) relatam que em 1992 o antigo aeroporto de Munique fechou e foi realocado. Antes da realocação, altos níveis de exposição estavam associados com déficits a longo prazo na memória e compreensão escrita. Dois anos depois do fechamento do aeroporto, estes déficits desapareceram, indicando que os efeitos do ruído na cognição podem ser reversíveis se a exposição for cessada. Mais convincente foi outra descoberta: as crianças que vieram a ser expostas nos últimos dois anos ao ruído próximo ao novo aeroporto apresentaram déficits na memória e compreensão escrita.

2.2.2. Hipertensão arterial

Estudos epidemiológicos sobre a relação entre ruído gerado por transportes (particularmente ruído aeronáutico e ruído rodoviário) e efeitos cardiovasculares foram realizados em adultos e crianças, focando na pressão sanguínea, hipertensão e doenças isquêmicas do coração. Durante os últimos anos, uma evidência crescente tem mostrado que tanto o ruído rodoviário quanto o ruído aeronáutico aumentam o risco de hipertensão arterial (WHO, 2011).

Exemplo disso é um estudo desenvolvido pela União Europeia intitulado HYENA – um grande estudo comunitário com amostras de entorno dos 7 maiores aeroportos europeus, cujo objetivo era estudar a relação entre hipertensão e a exposição sonora nas proximidades de aeroportos. Este estudo concluiu que um aumento de 10 dB(A)⁴ na exposição noturna ao ruído gerado por aeronaves estava associado a um aumento de 14% na probabilidade de hipertensão (CLARK & STANSFELD, 2011).

2.2.3. Incômodo

O incômodo é talvez a mais ampla resposta ao ruído e descreve reações negativas como perturbação, insatisfação e irritabilidade (CLARK & STANSFELD, 2011). Alguns especialistas em saúde pública reconhecem que formas severas de incômodo ao ruído deveriam ser consideradas uma questão ambiental que afeta o bem-estar e a qualidade de vida da população exposta ao ruído ambiental (WHO, 2011).

De acordo com a OMS, fatores acústicos como fonte geradora de ruído, nível de exposição sonora e período do dia em que ocorre a exposição determinam apenas em parte a

⁴ Decibel ponderado em A.

resposta ao incômodo de um indivíduo. Vários fatores não-acústicos como amplitude da interferência experimentada, capacidade de lidar com o ruído, expectativas, medo associado à fonte geradora de ruído, sensibilidade ao ruído, raiva, e crenças sobre se o ruído poderia ser reduzido pelos responsáveis influenciam as respostas ao incômodo (CLARK & STANSFELD, 2011).

Entretanto, algo que merece destaque neste trabalho é o resultado encontrado por estudos que revelam que o ruído aeronáutico causa maior incômodo que o ruído rodoviário, levando-se em consideração os mesmos níveis de exposição (CLARK & STANSFELD, 2011).

2.2.4. Perturbação do sono

É de conhecimento geral que o ruído pode despertar alguém que esteja dormindo ou dificultar o processo de adormecer. Porém, além disso, o ruído pode também afetar a qualidade do sono. Isto se deve ao fato de existirem vários estágios do sono, que vão deste totalmente acordado até o sono profundo, e o ruído pode causar um deslocamento de um estágio para outro (MESTRE & WOOTEN, 1980).

Existe um grande número de laboratórios e estudos de campo que proporcionam evidências suficientes para concluir que o ruído (noturno) gerado por transportes causa relevantes distúrbios do sono e, dependendo dos níveis de ruído, pode prejudicar o comportamento e o bem-estar no dia seguinte. Para valores de nível de pressão sonora noite (L_{night}^5) de até 30 dB(A), poucos distúrbios do sono são observados; para valores de 30 a 40 dB(A), os relatos de distúrbios tornam-se mais frequentes; entre 40 e 55 dB(A), quase toda a população exposta precisa tomar atitudes para lidar com ruído durante a noite; e para níveis acima de 55 dB(A), a situação é considerada cada vez mais perigosa em relação à saúde pública (WHO, 2011).

2.2.5. Problemas psicológicos

Devido ao efeito da exposição crônica ao ruído sobre o incômodo, foi postulada a hipótese de que essa exposição poderia trazer sérios problemas sobre a saúde psicológica, visto que o ruído pode causar incômodo e, se for prolongado, pode conduzir a uma má saúde psicológica. Historicamente, pesquisas neste campo começaram examinando associações entre exposição ao ruído aeronáutico e diagnósticos psiquiátricos que poderiam ser feitos por

⁵ Esta métrica é explicada na Seção 2.4.1.

meio de uma entrevista psiquiátrica ou por questionários de triagem. Mais tarde, estudos tentaram uma abordagem diferente (devido à falta de evidência de que a exposição ao ruído poderia relacionar-se com transtornos psiquiátricos clinicamente diagnosticados), concentrando-se no crescimento dos números de sintomas psicológicos relatados, como sintomas de ansiedade e depressão (CLARK & STANSFELD, 2011).

Muitos estudos, com as mais variadas abordagens e correlações entre variáveis, foram desenvolvidos no mundo todo nas últimas décadas. O que se pode concluir, de uma maneira geral, é que as evidências sugerem que a exposição ao ruído aeronáutico provavelmente não está associada a sérios problemas psicológicos, mas ela pode ter efeitos sobre sintomas psicológicos, bem-estar e qualidade de vida (CLARK & STANSFELD, 2011).

2.3. RUÍDO AMBIENTAL

Os ruídos aeronáutico, ferroviário, industrial, e rodoviário são exemplos de diferentes tipos de ruídos ambientais (CNOSSOS-EU, 2012). São diferentes, pois as fontes que os geram são diferentes, mas o mecanismo de transmissão sonora é o mesmo: pelo ar em campo livre.

O ruído ambiental é um tipo de ruído menos óbvio de ser avaliado, mesmo conhecendo-se o tipo de fonte sonora que o gera. Segundo Long (2006) a propagação sonora ao ar-livre de um ponto, *fonte*, para outro, *receptor*, depende:

1. Da própria fonte em si, mais especificamente do seu nível de potência sonora (L_w) e direção.
2. Da trajetória, também chamada de caminho, que é caracteriza pelos vários mecanismos de atenuação, tais como distância e barreiras.
3. Da localização do receptor.

Ainda segundo o autor, quando a distância entre a fonte e o receptor é desprezável, os mecanismos de atenuação praticamente não interferem no nível sonoro recebido. Todavia, conforme a aumenta a distância entre fonte e receptor, mais e mais mecanismos de atenuação sonora entram em cena, como absorção do ar, atenuação do solo, direção e velocidade do vento.

Para melhor compreensão, na Seção 2.3.1 será explicado a equação que rege a propagação sonora ao ar livre e na seção subsequente abordar-se-á brevemente quais são os tipos de mecanismos de atenuação ou amplificação da propagação sonora ao ar-livre e maneira como agem sobre a mesma.

2.3.1. Propagação sonora ao ar livre

O nível de pressão sonora L_p , gerado por uma fonte sonora com nível de potência sonora L_w , decresce com o aumento da distância a partir da fonte (MESTRE & WOOTEN, 1980) em função de vários fatores. Na Equação (1) é apresentada essa reação para propagação sonora ao ar-livre:

$$L_p = L_w - 20 \log r + DI_\theta - 10 \log \frac{\Omega}{4\pi} - A_e - 11 \text{ dB}, \quad (1)$$

Aqui, r representa a distância entre a fonte e o receptor; DI_θ é a diretividade da fonte sonora, muito importante em relação ao ruído aeronáutico, uma vez que o ruído gerado por aviões a jato é altamente direcional (BISTAFA, 2011); Ω é o ângulo sólido disponibilizado para a fonte para livre propagação; e A_e indica a soma de todos os mecanismos de atenuação ou amplificação sonora.

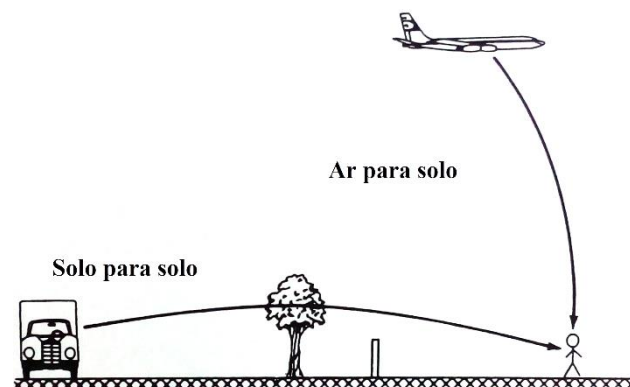
É importante não esquecer de sublinhar que esta equação é aplicável somente para fontes sonoras consideradas como pontuais. Uma fonte sonora é considerada pontual se suas dimensões forem menores que a metade da distância entre fonte e receptor (BISTAFA, 2011).

2.3.2. Mecanismos de atenuação/amplificação sonora ao ar livre

Conforme apresenta Bistafa (2011), os principais meios que interferem na propagação sonora ao ar-livre são oito: ar atmosférico, solo, barreiras acústicas, edificações, vegetação densa, reverberação urbana, gradientes de temperatura e gradiente de velocidade do vento. Alguns deles exercem papel atenuante, outros, amplificante, e há ainda aqueles que exercem ambos os papéis de acordo com as características físicas dos mesmos e também da onda sonora.

Na Figura 2.1 nota-se, por exemplo, que em função do tipo de fonte sonora/tipo de propagação, existem mecanismos de atenuação que podem não entrar em cena.

Figura 2.1 – Dois tipos de propagação sonora ao ar livre.



Fonte: MESTRE & WOOTEN (1980).

É de extrema importância ressaltar o fato de que, isoladamente, cada mecanismo possui uma natureza atenuante/amplificante e uma capacidade limitada de exercer tal papel. Porém, as interações entre estes mecanismos geram diferentes resultados, de maneira que ela não deve ser ignorada (MESTRE & WOOTEN, 1980).

Ar atmosférico

O ar atmosférico atua como atenuante no processo de propagação sonora ao ar livre, e a atenuação provocada por ele ocorre por meio de dois processos: o macroscópico e o microscópico.

No macroscópico, a absorção é dita clássica e se caracteriza pela extração de energia da onda sonora por meio da condução de calor e pelo atrito viscoso entre as partículas do ar. Neste processo, a absorção é proporcional ao quadrado da frequência da onda sonora.

No processo microscópico, a absorção é função da relaxação térmica molecular. As moléculas de um fluido possuem três modos energéticos – cinético translacional, cinético rotacional e vibração interna. Usualmente estes modos estão em equilíbrio entre si, todavia quando uma onda sonora passa pelo ar, este equilíbrio é quebrado. Para que o referido equilíbrio seja reestabelecido, há uma tendência de que uma quantidade de energia da onda sonora seja absorvida e redistribuída entre os modos energéticos.

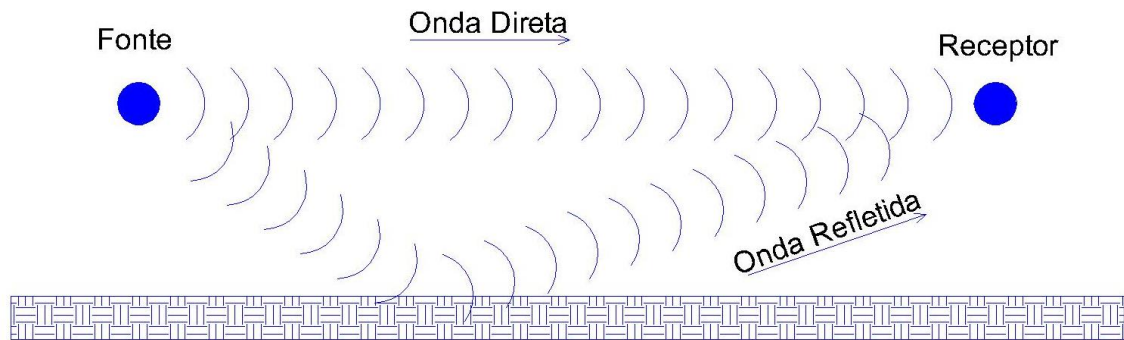
Ainda neste processo microscópico, não podemos esquecer de sublinhar a importância da umidade relativa do ar. Esse fluido, o ar, é composto por vários elementos, entre eles o vapor de água. Embora este último não contribua com a absorção sonora, suas partículas de água desaceleram as colisões moleculares, reduzindo, assim, a transferência de energia vibratória para energia cinética (e vice-versa) das partículas dos demais gases que compõem o ar.

Solo

O solo é um elemento que ora possui característica atenuante, ora possui característica amplificante – o que vai definir o comportamento do solo em relação à onda sonora é a “dureza” do mesmo.

A onda sonora é emitida pela fonte e chega ao receptor de duas maneiras: diretamente, e através da onda refletida pelo solo (Figura 2.2). Essa onda refletida pelo solo irá interferir na onda direta, podendo atenuar ou amplificar o som.

Figura 2.2 – Interferência do solo na propagação sonora.



Fonte: Adaptado de BISTAFA (2011).

Quando a onda sonora se propaga não tão próxima ao solo, e o solo é considerado acusticamente "duro" (asfalto, água, solo compactado, entre outros), ocorre amplificação do nível sonoro de 3 dB, em média.

Quando a onda sonora se propaga próxima ao solo, e o solo é considerado acusticamente "macio" (solo não compactado, grama, entre outros), ocorre significativa atenuação do nível sonoro.

Resumidamente, solos duros amplificam o nível sonoro, enquanto que solos macios o atenuam.

Barreiras acústicas

Barreiras acústicas são normalmente usadas para controlar o ruído exterior (LONG, 2006). São, portanto, atenuantes no processo de propagação sonora ao ar livre. Contudo, não são aplicáveis ao ruído aeronáutico.

Edificações

As edificações atenuam o som transmitido ao ar-livre de maneira semelhante às barreiras. Entretanto, são menos eficazes que estas últimas. O som que atinge o receptor é a soma do som difratado pelo topo das edificações com o som transmitido livremente pelos espaços livres entre uma edificação e outra.

Uma única fileira de edificações pode atenuar em até 10 dB os níveis sonoros totais ao receptor. Fileiras extras conferem uma atenuação menor, sendo o limite de atenuação total inferior a 15 dB.

Vegetação densa

A vegetação densa atua como um atenuante no processo de propagação sonora ao ar-livre. A atenuação ocorre por dois meios: há um espalhamento do som pelos troncos, ramos grandes e folhagem densa, e também a absorção sonora por parte da folhagem, dos ramos e dos arbustos.

Segundo Bistafa (2011), a eficácia do isolamento acústico depende essencialmente de quatro fatores: largura do cinturão, localização do cinturão, altura do cinturão e configuração de plantio. Assim sendo, o espalhamento do som tem mais importância no processo de atenuação do que a absorção propriamente dita – essa absorção se torna importante para elevados valores de frequência do som.

Atualmente a execução de barreiras acústicas constituídas por vegetação densa tem ganhado espaço no que diz respeito a medidas mitigatórias do ruído ambiental, especialmente em relação ao ruído aeroportuário. Bistafa (2011) comenta que o objetivo no caso dos aeroportos é atenuar o ruído de taxiamento de aeronaves, testes de motor, decolagem e aterrissagem. Uma vez que o avião está voando, o cinturão deixa de exercer sua função.

Em níveis de atenuação sonora, o valor máximo obtido é da ordem de 10 dB. Porém, como cita Juan Farias, engenheiro acústico em entrevista à Silva da Revista AECweb, barreiras conferem uma melhora subjetiva à população em relação ao ruído ambiental – elas são visualmente agradáveis.

Reverberação urbana

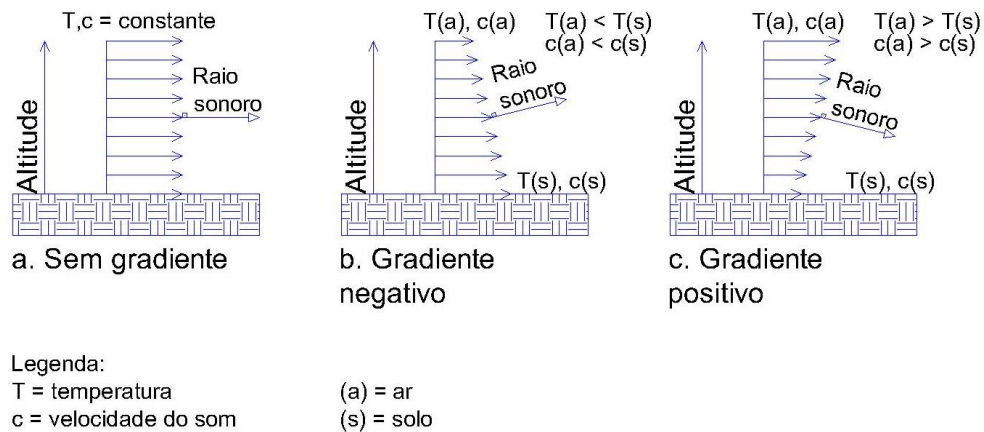
A reverberação urbana causada pelos desfiladeiros de grandes edificações pode amplificar o ruído proveniente do tráfego. Em relação ao ruído aeronáutico, este é um mecanismo de pouca ou nenhuma importância, visto que aviões não voam baixo o suficiente.

Gradientes de temperatura

Juntamente com as condições de umidade do ar atmosférico, os gradientes de temperatura e de velocidade do vento são os fatores de maior relevância quando se reporta à atenuação sonora do ruído aeronáutico.

A velocidade do som é diretamente proporcional à temperatura. Assim sendo, gradientes de temperatura conduzem gradientes de velocidade do som com as mesmas características. Na Figura 2.3, podemos observar os diferentes tipos de gradientes de temperatura e como eles afetam a propagação sonora.

Figura 2.3 – Gradientes de temperatura e raios sonoros associados.



Fonte: Adaptado de BISTAFA (2011).

Quando não há gradientes de temperatura (Figura 2.3.a), a frente de onda (sonora) permanece perpendicular ao solo e o raio sonoro paralelo a ele. Já quando o gradiente de temperatura é negativo (Figura 2.3.b), ou seja, quando a temperatura diminui com o aumento da altitude, a frente de onda se inclina para cima, e o raio sonoro tende a afastar-se do solo. Por outro lado, quando há um gradiente de temperatura positivo (Figura 2.3.c), ou seja, quando a temperatura aumenta com o aumento da altitude, a frente de onda se inclina para o solo e o raio sonoro vem a incidir sobre o mesmo.

O gradiente negativo ocorre tipicamente durante o dia no qual, devido a insolação, a temperatura do solo e do ar próximo a ele são mais elevadas. Como o raio sonoro se inclina para cima, é comum haver zonas de sombra acústica.

Durante a noite não há insolação, logo o solo resfria-se rapidamente, e o gradiente de temperatura passa a ser positivo, tal que o raio sonoro se inclina em direção ao solo. Este fenômeno explica porquê durante a noite a propagação sonora ao ar-livre é melhor, e fundamenta, em partes, o fato de certas métricas acústicas atribuírem um peso maior aos níveis sonoros noturnos.

Gradiente de velocidade do vento

Em relação ao vento, a direção dos raios sonoros depende unicamente se o som se propaga a sota-vento (a favor do vento) ou a barlavento (contra o vento), uma vez que o gradiente de velocidade do vento é sempre positivo – positivo pois as camadas de ar próximas ao solo tendem a frear o vento devido ao atrito com a superfície.

Se a propagação sonora se der a sota-vento, a frente de onda se inclina para o solo, assim como ocorre com o gradiente positivo de temperatura. Se por outro lado a propagação

sonora se der a barlavento, a frente de onda se inclina para cima gerando uma zona de sombra acústica, semelhante ao que ocorre com o gradiente negativo de temperatura.

2.4. RUÍDO AERONÁUTICO

Atualmente, o ruído proveniente de operações com aeronaves é uma forma de poluição sonora ambiental das mais expressivas (BISTAFA, 2011). No século XXI, a aviação tem contribuído com as mudanças climáticas, ruído e poluição (ZAPOROZHETS *et al*, 2011).

Segundo Long (2006) o ruído de aeronaves é gerado primordialmente pela interação entre a alta velocidade dos gases (exaustados pelas turbinas da aeronave) com a atmosfera (relativamente imóvel), conforme a aeronave atravessa esta última. À medida que os gases vão se misturando ao ar circulante, a turbulência resultante cria grandes variações de pressão e temperatura, as quais se difundem como som. A região onde a maior parte do som é produzida está localizada entre 5 a 8 diâmetros atrás da turbina.

O ruído produzido pelos jatos das aeronaves possui diversas características distintas, como a alta diretividade: normalmente, o ruído é máximo num ângulo de 30° à 45° em relação ao eixo do jato. Outra característica importante é que uma operação de pouso de uma aeronave em um aeroporto produz um ruído (de alta frequência) mais elevado do que uma operação de decolagem, pois em frente às turbinas os componentes tonais de alta frequência do compressor são irradiados a partir da admissão.

A mensuração do ruído aeronáutico é realizada em estações de monitoramento fixas, localizadas em postos ou prédios ao redor do aeródromo (SMITH, 2004). Outro modo de se avaliar a exposição da comunidade ao ruído aeronáutico é através de simulação computacional, com programas específicos, os quais permitem gerar as Curvas de Contorno de Ruído do aeroporto em métricas acústicas especialmente usadas para se avaliar o ruído aeronáutico.

No Seção 2.4.1 serão apresentadas as métricas utilizadas neste trabalho para avaliação do ruído aeronáutico do aeroporto em estudo.

2.4.1. Métricas acústicas do ruído aeronáutico

A reação do homem ao ruído é função de vários fatores, entre eles cita-se o horário da ocorrência, a duração, as características espectrais, entre outros. Em decorrência da natureza bastante variada dos ruídos cotidianos, a avaliação dos mesmos pode ser consideravelmente complexa (MESTRE & WOOTEN, 1980).

São chamadas de métricas acústicas os diferentes métodos de avaliação de ruído (LONG, 2006). Essas métricas estão associadas a critérios de aceitabilidade que refletem o grau de incômodo ou interferência nas atividades humanas.

Em relação ao ruído aeronáutico, existe uma gama bem variada de métricas acústicas que podem ser usadas a fim de avaliá-lo. No presente trabalho serão apresentadas as métricas acústicas que aqui foram utilizadas: L_{dn} (*day-night level*), L_{den} (*day-evening-night level*) e L_{night} (*night level*).

Nível de pressão sonora contínuo equivalente, L_{eq}

Antes de serem explicadas as métricas acústicas aqui usadas na avaliação do ruído aeronáutico, é necessário primeiramente explicar o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}), pois tanto L_{dn} , quanto L_{den} e L_{night} são, antes de tudo, níveis de pressão sonora equivalentes.

MESTRE & WOOTEN (1980) definem nível de pressão sonora contínuo equivalente como sendo a integral do nível de pressão sonora em relação a um período de tempo. O L_{eq} é calculado pela Equação (2):

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p(t)}{10}} dt \right] \text{ dB}, \quad (2)$$

Na qual $L_p(t)$ é o nível de pressão sonora no instante t , e T é o intervalo de tempo do registro.

Nível de pressão sonora dia-noite, L_{dn}

Em português chamado de Nível dia-noite, L_{dn} é uma métrica desenvolvida pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos EUA para avaliação do ruído em comunidades (LONG, 2006).

Essa métrica tem como princípio estabelecer um nível médio de pressão sonora durante um período de 24 horas, penalizando em +10 dB os ruídos ocorrentes no período noturno (REYNOLDS, 1981). De acordo com Long (2006), é estabelecido como período diurno o período entre as 7 e 22 horas e como período noturno aquele que vai das 22 às 7 horas. A menos que sejam adotados outros critérios pelo avaliador, muito em função dos hábitos locais, subentende-se que os períodos diurno e noturno são aqueles anteriormente caracterizados.

Conhecendo-se os L_{eq} de cada hora do dia, é possível calcular o L_{dn} por meio da Equação (3):

$$L_{dn} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{15} 10^{\frac{L_{eqi}}{10}} + \sum_{j=1}^9 10^{\frac{L_{eqj} + 10}{10}} \right] \right\} \text{ dB}, \quad (3)$$

Nível de pressão sonora dia-anoitecer-noite, L_{den}

Semelhante ao L_{dn} , o Nível dia-anoitecer-noite difere dele por adicionar o período do “anoitecer”. Comumente usado na União Europeia, o L_{den} penaliza os ruídos ocorrentes no chamado anoitecer em +5 dB, mantendo a penalidade de +10 dB para os ruídos ocorridos no período noturno. A Diretiva 2002/49/CE define o L_{den} através da Equação (4):

$$L_{den} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{12} 10^{\frac{L_{eqi}}{10}} + \sum_{j=1}^4 10^{\frac{L_{eqj} + 5}{10}} + \sum_{k=1}^8 10^{\frac{L_{eqk} + 10}{10}} \right] \right\} \text{ dB}, \quad (4)$$

Por omissão dos valores, a Diretiva 2002/49/CE define como período diurno aquele compreendido entre as 7 e 19 horas, anoitecer aquele compreendido entre as 19 e 23 horas, e noturno aquele entre as 23 e 7 horas. Contudo, em função dos hábitos locais, a Diretiva 2002/49/CE permite que o período de anoitecer seja encurtado em 1 ou 2 horas aumentando, por conseguinte, o período da noite.

Nível de pressão sonora noite, L_{night}

Também usado pela União Europeia, o Nível noite, ou L_{night} , é o nível de pressão sonora médio do ruído ocorrido durante a noite (Equação 5):

$$L_{night} = 10 \log \left[\frac{1}{8} \sum_{k=1}^8 10^{\frac{L_{eqk}}{10}} \right] \text{ dB}, \quad (5)$$

Por omissão dos valores, a Diretiva 2002/49/CE estabelece como noite o período entre as 23 e 7 horas.

2.5. LEGISLAÇÕES SOBRE RUÍDO

O ruído é frequentemente citado como o aspecto mais indesejável em relação à vida no meio urbano. Atrás somente do rodoviário, o aeronáutico é o segundo tipo de ruído mais incômodo em relação à frequência e período de ocorrência e, nas áreas rurais, figura geralmente em primeiro lugar (SMITH, 2004).

Embora as aeronaves tenham se tornado cada vez mais silenciosas, como menciona a literatura, o volume do tráfego aéreo aumentou consideravelmente nas últimas décadas. Assim, de acordo com SMITH (2004), a redução nos níveis de pressão sonora não é suficiente

para compensar o crescimento do número de operações aeronáuticas ou o seu impacto psicológico, de modo a dar fim no problema.

Em função do exposto acima, já foram, e ainda são criadas, normas e leis no mundo todo, cujo objetivo é estabelecer limites e critérios de aceitação do ruído ambiental e do ruído aeronáutico – que lembrando aqui, não deixa de ser um ruído ambiental. Estas normas e leis estão sempre em constante melhoramento, devido a isto é imprescindível observar a vigência da norma e/ou lei antes de fundamentar qualquer avaliação sobre ruído. Nas Seções 2.5.1 a 2.5.5 serão apresentadas algumas leis e normas vigentes atualmente que dispõem sobre o ruído ambiental e sobre o ruído aeronáutico.

2.5.1. Plano de Zoneamento de Ruído

No Brasil existe um órgão responsável por gerenciar o espaço aéreo brasileiro e elaborar normas a respeito da aviação, entre outras funções. Este órgão é a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). A ANAC, por meio do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) estabelece a obrigação de todo aeródromo civil ou compartilhado dispor do seu Plano de Zoneamento de Ruído, o PZR. O RBAC 161 (2013) define:

- (a) O PZR é composto pelas Curvas de Ruído e pelas compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas.
- (b) Curvas de ruído são linhas traçadas em um mapa, cada uma representando níveis iguais de exposição ao ruído. (RBAC 161 (2013), p. 04)

As curvas de ruído variam de 5 em 5 dB para os níveis de 65 dB a 85 dB, e são obtidas interpolando os pontos de igual nível de ruído dia e noite, L_{dn} . Para cálculo do L_{dn} , é definido como período noturno aquele compreendido entre as 22 h e 7 h.

O regulamento estabelece que, para os aeródromos que possuem média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 anos superior a 7.000, deve ser aplicado um Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), cujas curvas de ruído devem ser calculadas por programa computacional que utilize metodologia matemática apropriada.

Maiores informações sobre a metodologia para elaboração das curvas de ruído que compõem o PEZR podem ser consultadas na Subparte D: Plano Específico de Zoneamento de Ruído – PEZR do RBAC 161 (2013). O documento RBAC 161 (2013) estabelece ainda na Quadro E-2 (Anexo A) quais são os usos compatíveis e incompatíveis para as áreas abrangidas pelo PEZR.

2.5.2. Normas brasileiras sobre ruído

No Brasil existem basicamente duas normas redigidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que dispõem sobre o ruído ambiental voltadas ao conforto acústico da comunidade, a citar:

1. NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento;
2. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico.

A norma NBR 10151 de 2000 tem por objetivo estabelecer limites de aceitabilidade de ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações. A norma especifica um método para medição de ruído, aplicação e correções, quando necessário. O método descrito usa como métrica o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A, L_{Aeq} , comumente expresso em dB(A).

O Quadro 1 da NBR 10151, transcrito no Quadro 4.1, apresenta o Nível Critério de Avaliação NCA para ambientes externos. A norma estabelece ainda estas definições de período diurno e noturno:

6.2.2. Os limites de horário para o período diurno e noturno da tabela 1 podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 h e não deve terminar antes das 7 h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o término do período noturno não deve ser antes das 9 h. (NBR 10151, 2000. p. 4)

Quadro 4.1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151 – Tabela 1.

A norma NBR 10152 de 1987 vai ao encontro da NBR 10151, de maneira a complementá-la. Enquanto que a norma NBR 10151 impõe limites para níveis de ruído externos às edificações, a NBR 10152 impõe limites para níveis de pressão sonora em ambientes internos e em função da frequência dos mesmos.

No presente trabalho não será abordada a norma NBR 10152, uma vez que não será feita avaliação dos ambientes internos das edificações submetidas ao ruído aeronáutico.

2.5.3. Normas brasileiras sobre ruído aeronáutico

Em relação as normas que fazem referência ao ruído aeronáutico, existem atualmente duas que estão em vigor:

1. NBR 11415: Ruído Aeronáutico;
2. NBR 12314: Aeronáutica – Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico.

A primeira delas, a norma NBR 11415 de 1990, tem por objetivo definir os termos e as grandezas empregados na área de ruído aeronáutico. Não estabelece, portanto, nenhum limite de níveis de ruído aeronáutico.

A norma NBR 12314 de 1997 é semelhante à norma já citada NBR 10152, com a diferença de ser específica ao ruído aeronáutico. Não há, contudo, nada que impeça a utilização da NBR 12314 na avaliação de ruídos provenientes de outras fontes, como explica a própria norma.

Existem ainda duas outras normas que dispõem sobre o ruído aeronáutico:

1. NBR 10856: Determinação do nível efetivo de ruído percebido (EPNL) de sobrevoos de aeronaves – Procedimento;
2. NBR 12859: Avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas.

Todavia, ambas se encontram canceladas.

A norma NBR 10856 desde maio de 2016, por conflitar com o regulamento técnico vigente do setor aeronáutico, entre eles o RBAC 161. E a NBR 12859 desde julho de 2016, pelo mesmo motivo, visto que é baseada na NBR 10856.

Desse modo, pelos motivos anteriormente expostos, é possível afirmar que a única norma técnica aplicável ao escopo do presente trabalho é a NBR 10151.

2.5.4. Legislação de Florianópolis sobre ruído

No município de Florianópolis, cidade onde está localizado o aeródromo em estudo, existe uma lei municipal que dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público, a Lei Complementar CMF Nº 003/99. Esta lei estabelece, dentre outras coisas, limites máximos permissíveis de níveis de pressão sonora segundo as zonas de uso (ocupação do solo) e o período de ocorrência do ruído observado. Para aplicação da lei, ela define como período diurno aquele compreendido entre as 7 e 19 horas, vespertino aquele entre às 19 e 22 horas e noturno como aquele entre as 22 e 7 horas.

No Quadro 4.2 observam-se os limites permissíveis de níveis de pressão sonora, em dB(A), estabelecidos pela CMF 003/99. Para devido entendimento da citada tabela, deve-se primeiramente apresentar o significado das abreviações por ela usadas:

- ARE - Área Residencial Exclusiva;
- AER - Área de Exploração Rural;
- AMR - Área Mista Rural;
- APL - Área de Preservação com uso Limitado;
- ARP - Área Residencial Predominante;
- APT - Área de Parque Tecnológico;
- ACI - Área Comunitária Institucional;
- AVL - Área Verde de Lazer;
- AVP - Área Verde de uso Privado;
- AMC - Área Mista Central;
- ATR - Área Turística Residencial;
- AMS - Área Mista de Serviço;
- AS - Área Serviço Exclusivo;
- AIE - Área Industrial Exclusiva.

Quadro 4.2 – Limites máximos permissíveis de ruído, em dB(A).

Zonas de Uso	Diurno	Vespertino	Noturno
Todas as ARE, AER, AMR e APL	55	50	45
Todas as ARP, APT, ACI, AVL e AVP	60	55	50
Todas as AMC e ATR	65	60	55
Todas as AMS, AS e AIE	70	60	60

Fonte: Lei Complementar CMF N° 003/99 – Anexo 1.

2.5.5. Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu

O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia firmaram em junho de 2002 a Diretiva 2002/49/CE relativa à avaliação e gestão do ruído ambiental, emitido pelas principais fontes, entre elas as aeronaves.

Os indicadores comuns de ruído selecionados pela Diretiva 2002/49/CE são o L_{den} , para avaliar o incomodo, e o L_{night} , para avaliar as perturbações do sono.

Os grandes aeroportos devem apresentar, de acordo com a Diretiva 2002/49/CE, o número estimado de pessoas (em centenas) que vivem fora das aglomerações em habitações expostas a cada umas das seguintes gamas de valores:

1. L_{den} , em dB(A), a uma altura e 4 m da fachada mais exposta: 55-59, 60-64, 65-69, 69- 70, >75;
2. L_{night} , em dB(A), a uma altura e 4 m da fachada mais exposta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70.

Deve-se ainda apresentar a área total (em km²) exposta a valores de L_{den} superiores a 55, 65 e 75 dB(A), respectivamente, e indicar o número estimativo de habitações (em centenas) e o número estimado de pessoas (em centenas) que vivem em cada uma dessas zonas.

A Diretiva 2002/49/CE define como “grande aeroporto” um aeroporto civil com mais de 50.000 movimentos por ano, o que não é o caso do aeroporto em estudo, porém, para efeitos de pesquisa e aplicação da metodologia proposta, adotar-se-á o pressuposto de que seja.

3. AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ (SBFL)

3.1. HISTÓRIA DO SBFL

Batizado em homenagem ao governador Hercílio Luz, a história do Aeroporto Internacional Hercílio Luz se inicia no ano de 1922, quando a capital de Santa Catarina, Florianópolis, foi escolhida para receber as instalações do Sistema de Defesa Aérea do litoral do Brasil. No ano seguinte foram iniciadas as obras do futuro Centro de Aviação Naval, no campo da Ressacada (ANCAB, 2016).

Em 1927, o Centro de Aviação Naval dispunha de uma pista de pouso para aeronaves terrestres e demais instalações de infraestrutura. Nesse ano as atividades comerciais foram iniciadas: no dia 21 de julho, um aeroplano da Companhia Latécoerè, pilotado pelo piloto P. Vachet, aterrissou no campo da Ressacada. Pouco menos de dois anos antes, como indica a Figura 3.1, a Latécoerè já realizava uma missão de reconhecimento em Florianópolis (INFRAERO, 2015).

Figura 3.1 – Florianópolis, 14 de janeiro de 1925. Missão de reconhecimento da Latécoère da rota Rio de Janeiro-Buenos Aires.



Fonte: Blog Sterling Numismática.

Entre os anos de 1952 e 1954 foi construído o Terminal de Passageiros, administrado pelo Departamento de Aviação Civil (DAC). No ano seguinte, o Ministério da Aeronáutica inaugurou o terminal. As instalações contavam com uma torre de controle de concreto

armado, um pátio para aeronaves e a pista compartilhada com a Base Aérea de Florianópolis, que se mantém até os dias de hoje (ANCAB, 2016).

No dia 7 de janeiro de 1974, o V Comando Aéreo Regional passou o Aeroporto de Florianópolis à jurisdição da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), que deu início a uma série de reformas. Dois anos depois, dois terminais foram inaugurados, o de logística de carga (TECA) em janeiro, e o de passageiros em agosto, ampliando o local de 500 para 2.985 m² (INFRAERO, 2015). A pista principal 14-32, com 2.300 m de extensão e 45 m de largura, foi aberta ao tráfego público em 1978 (ANCAB, 2016).

Na década de 1980, uma nova reforma foi realizada. O Terminal de Passageiros foi ampliado, ganhou vias de serviço e um novo pátio de manobras: em outubro de 1988 o espaço foi ampliado para 6.440 m² (INFRAERO, 2015).

O Aeroporto de Florianópolis foi elevado à categoria de Aeroporto Internacional pelo Ministério da Aeronáutica no dia 3 de outubro de 1995. Desde então o movimento começou a crescer cada vez mais no Aeroporto. Assim, em 2000, o Terminal de Passageiros foi ampliado e climatizado, passando para a contar com 8.440 m² (INFRAERO, 2015).

3.2. SITUAÇÃO ATUAL DO SBFL

Atualmente o aeroporto SBFL conta com um Terminal de Passageiros com área de 9.540 m² e capacidade de atender até 4,1 milhões de passageiros/ano (INFRAERO, 2015). A Figura 3.2 exhibe uma foto do Terminal de Passageiros.

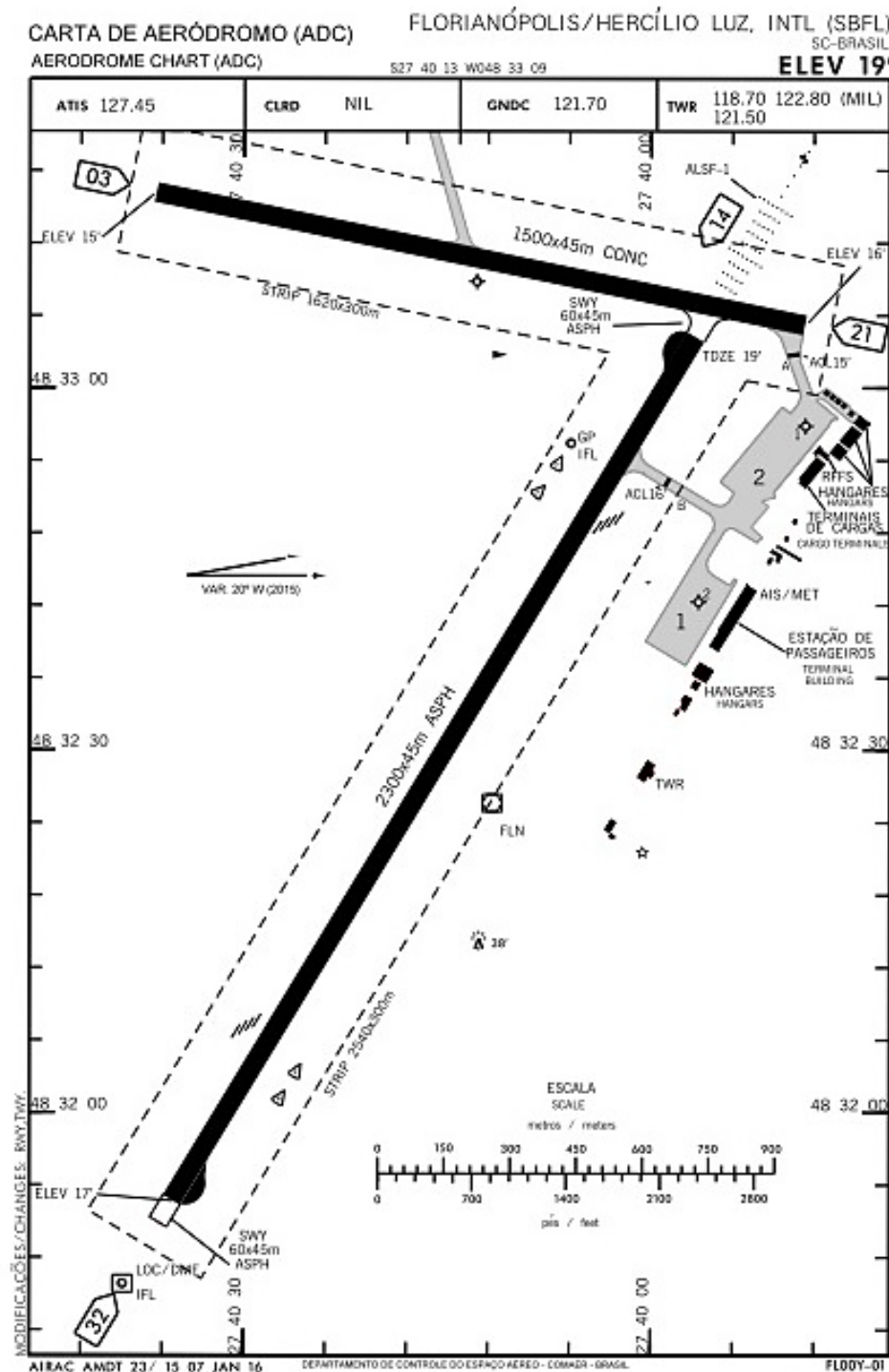
Figura 3.2 – Aeroporto Internacional Hercílio Luz: Terminal de Passageiros.



Fonte: Portal Brasil.

No aeroporto SBFL existem duas pistas de pouso e decolagem, a pista 03-21 com 1.500 m de extensão e 45 m de largura, e a já citada pista 14-32, com 2.300 m de extensão e 45 m de largura. Todavia, somente esta última, que é a pista principal, é atualmente utilizada para operações aéreas (APONTE, 2016). Na Figura 3.3 é apresentada a carta de aeródromo do SBFL, indicando no topo a pista 03-21, e em diagonal ao longo da carta a pista 14-32.

Figura 3.3 – Carta de aeródromo do Aeroporto Internacional Hercílio Luz.



Fonte: Serviço de Informação Aeronáutica (2016).

No ano de 2015, mais de 3.638.000 passageiros passaram pelo Aeroporto Internacional de Florianópolis, sendo registrados aproximadamente 31.500 movimentos de aeronaves de passageiros. O Quadro 3.1 exibe o movimento diário médio de aeronaves de passageiros para cada mês do ano, diferenciando entre operação de decolagem e aterrissagem. A média diária de operações em 2015 foi de 86 operações/dia. O Quadro 3.2 mostra o movimento diário médio de passageiros para cada mês do ano, diferenciando entre partidas e chegadas. A média diária de passageiros em 2015 foi de 9.928 passageiros/dia.

Quadro 3.1 – Movimento diário médio de aeronaves de passageiros no aeroporto SBFL em 2015.

Média diária mensal	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Decolagens	54	48	42	42	43	42	44	42	42	43	42	48
Aterrissagens	55	48	42	42	43	42	44	43	42	43	43	48
Total	109	96	84	85	87	84	88	85	85	86	84	95
Média diária anual	86											

Fonte: Adaptado de ANAC (2015).

Quadro 3.2 – Movimento diário médio de passageiros no aeroporto SBFL em 2015.

Média diária mensal	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Partidas	6266	5212	4838	5059	4494	4301	5073	4435	4914	5050	4952	4901
Chegadas	5955	5279	4783	4883	4520	4246	5094	4474	4953	5270	4961	5697
Total	12221	10491	9622	9943	9014	8546	10167	8909	9867	10320	9913	10598
Média diária anual	9928											

Fonte: Adaptado de ANAC (2015).

3.3. EXPANSÃO DO SBFL

Objetivando aumentar a capacidade operacional do SBFL, a Infraero deu início em 2012 a uma grande reforma com importantes obras de infraestrutura. Na Figura 3.4 é apresentado o projeto arquitetônico de Biselli e Motta para o Terminal de Passageiros, e no

Quadro 3.3 é possível conferir um comparativo apresentado pela Infraero em 2011 mostrando as melhoras a serem proporcionadas pela reforma.

Figura 3.4 – Projeto de expansão de Mario Biselli e Guilherme Motta.



Fonte: Revista Pini Web (2010).

Quadro 3.3 – Comparativo entre situação atual do SBFL e projeto de expansão.

Dados	Novo Empreendimento	Atual
Capacidade nominal – revisada pela área de operações para entre as faixas baixa (8h) e alta (12h)	Entre 4,5 e 6,7 milhões de passageiros/ano	Entre 2,1 e 2,5 milhões de passageiros/ano
Área construída total	35.817 m ²	9.540m ²
Área de pistas de rolagem	23.371 m ²	9.200 m ²
Número de pistas de rolagem/taxiways	5	2
Saída rápidas	1	0
Área de pátio de aeronaves	85.000 m ²	20.187 m ²
Capacidade do pátio de aeronaves	12	5
Área de estacionamento	57.000 m ²	16.500 m ²
Capacidade do estacionamento	1.800 vagas	500 vagas
Número de pontes de embarque	5	0

Fonte: INFRAERO (2011).

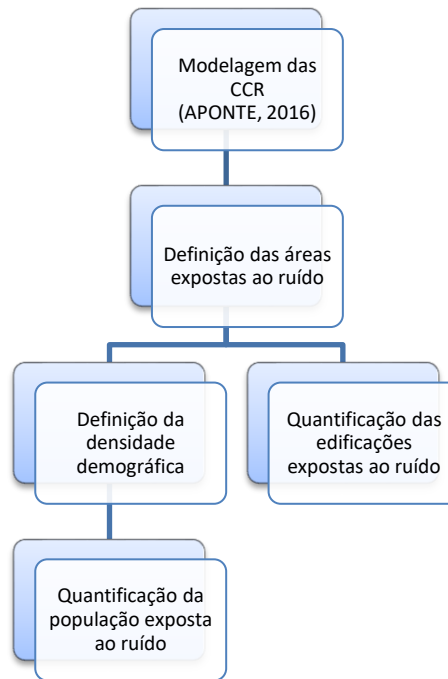
Infelizmente, as obras da expansão do Aeroporto Internacional Hercílio Luz encontram-se paradas desde o início de 2015. Atualmente, a previsão é de que o terminal deva ser concedido à iniciativa privada em 2017, e que as obras de ampliação sejam concluídas até o segundo semestre de 2019, onze anos depois da previsão feita pela Infraero.

O importante a destacar aqui é que, finalizadas as obras de expansão, a capacidade operacional do SBFL irá aumentar consideravelmente. Aumentando-se a capacidade operacional aumenta-se o número de operações aeronáuticas no aeroporto e, juntamente com elas, o ruído aeronáutico.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo serão explicados os métodos utilizados no presente trabalho com a finalidade de atingir os resultados almejados. Um fluxograma indicando a sequência do processo metodológico é observado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Metodologia: etapas.



Fonte: Autoria própria.

4.1. MODELAGEM DAS CURVAS DE CONTORNO DE RUÍDO

Para avaliar a população exposta nas proximidades do Aeroporto Internacional Hercílio Luz ao ruído produzido pelas operações aeronáuticas deste aeroporto, foram utilizadas as CCR de L_{dn} , L_{den} e L_{night} . Estas curvas foram modeladas por meio de simulação computacional com o programa *Aviation Environmental Design Tool* (AEDT), versão 2b.

A *Federal Aviation Administration* (FAA) descreve:

AEDT é um software que modela dinamicamente o desempenho de aeronaves, no tempo e no espaço, para mostrar a queima de combustível, emissões e ruído. (FAA)

Para fazer tais modelagens, o AEDT se utiliza das características das aeronaves, tais como peso e modelo do motor. Em relação ao ruído aeronáutico, objeto de estudo em questão, o programa necessita também de outras informações. Pode-se citar entre elas:

- Coordenadas georeferenciadas das cabeceiras da(s) pista(s) do aeroporto;
- Altitude das pistas;

- Relevo;
- Horário do evento;
- Tipo de operação, decolagem ou aterrisagem;
- Orientação da operação em relação a pista, isto é, em qual cabeceira ocorre a decolagem ou aterrisagem;
- Rota da aeronave;
- Condições climáticas durante o evento: umidade relativa do ar, temperatura atmosférica, velocidade e direção do vento.

A partir dos dados de entrada fornecidos pelo operador do software, o programa gera as curvas de contorno de ruído do aeroporto, de acordo com a métrica escolhida e a precisão desejada. Na Seção seguinte serão descritos os dados de entrada utilizados para realizar a modelagem das CCR do SBFL.

4.1.1. Parâmetros de entrada para geração das CCR do SBFL

Como já comentado anteriormente, atualmente somente uma pista está em operação no SBFL, a pista 14-32, cuja altitude é 5,8 m, e cujas coordenadas são exibidas no Quadro 4.1.

No presente trabalho, as CCR foram modeladas tomando-se como base o mês de setembro de 2015, mês este que apresenta tráfego aéreo normal, considerando-se a operação máxima deste mês. Para o cálculo das curvas, considerou-se ainda somente o volume de tráfego de aeronaves de aviação civil e comercial – não foi levada em consideração a aviação militar. Também não se levou em consideração a rota realizada por cada aeronave, em função da indisponibilidade de tal informação, sendo utilizadas as trajetórias de voo padrão apresentadas nas cartas *Standard Instrument Departure* (SID) e *Standard Instrument Arrival* (STAR) pertencentes ao documento *Aeronautical Information Publication* (AIP) do aeroporto SBFL (APONTE, 2016).

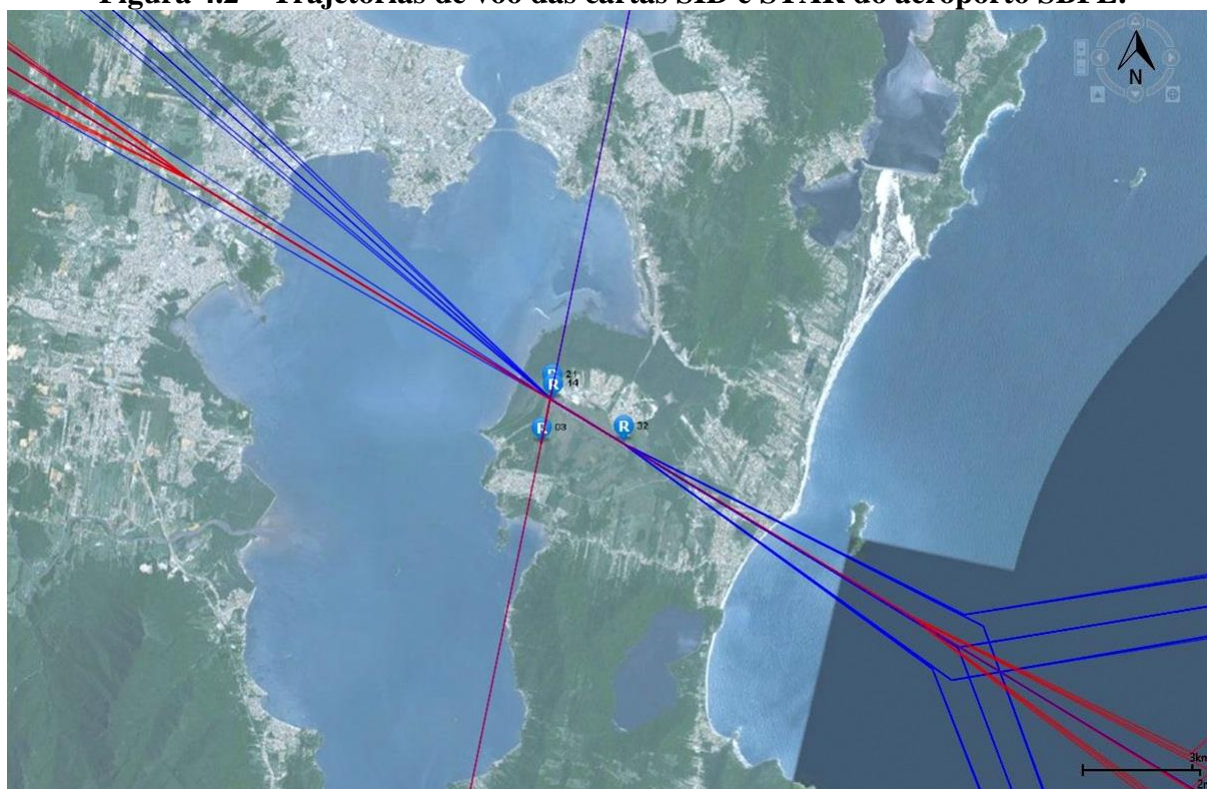
Quadro 4.1 – Coordenas das cabeceiras da pista 14-32 do SBFL.

Cabeceira	Latitude	Longitude
14	S27° 39' 57"	W48° 33' 04"
32	S27° 40' 35"	W48° 31' 52"

Fonte: Serviço de Informação Aeronáutica (2016).

A Figura 4.2 mostra as trajetórias de voos criadas dentro do AEDT 2b. As linhas em azul representam as operações de decolagem, enquanto que as linhas vermelhas indicam as operações de aterrisagem.

Figura 4.2 – Trajetórias de voo das cartas SID e STAR do aeroporto SBFL.



Fonte: APONTE (2016).

O Quadro 4.2 mostra a utilização das cabeceiras 14 e 32 para operações de decolagens e aterrissagens e o período em que ocorrem as operações, levando-se em conta o dia de máxima operação.

Quadro 4.2 – Operações aéreas e utilização da pista diária.

Nº de operações	Período		Decolagens		Aterrissagens	
	Diurno	Noturno	Cabeceira 14	Cabeceira 32	Cabeceira 14	Cabeceira 32
100	78	22	46	4	49	1

Fonte: Adaptado de APONTE (2016).

Já o Quadro 4.3 apresenta a quantidade de operações realizadas por cada tipo de aeronave, classificando em tipo de operação e período. Aqui o período diurno é aquele compreendido entre as 7 h e as 22 h, e o noturno entre as 22 h e as 7 h.

Para realizar as modelagens, foram consideradas as condições meteorológicas médias do mês de setembro de 2015 (Quadro 4.4). Também foi utilizado modelo de atenuação atmosférica SAE-ARP-5534, que tem a função de corrigir as condições atmosféricas do aeroporto em análise em relação às condições atmosféricas de referência (APONTE, 2016).

Quadro 4.3 – Período de operação das aeronaves.

Aeronaves	Decolagens		Aterrisagens		Total
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	
Boeing 737-700	5	4	4	4	17
Boeing 737-800	11	1	10	2	24
Airbus A319-132	3	0	4	0	7
Airbus A320-211	11	3	7	5	26
Airbus A320-232	1	1	4	1	7
Airbus A321-232	1	0	0	0	1
Embraer ERJ-190	8	1	8	1	18
Total	40	10	37	13	100

Fonte: Adaptado de APONTE (2016).

Quadro 4.4 – Condições meteorológicas do mês de setembro de 2015 do SBFL.

Parâmetro	Média
Temperatura (°C)	19,7
Umidade relativa (%)	80,9
Pressão atmosférica (kPa)	101,32
Velocidade do vento (m/s)	2,5

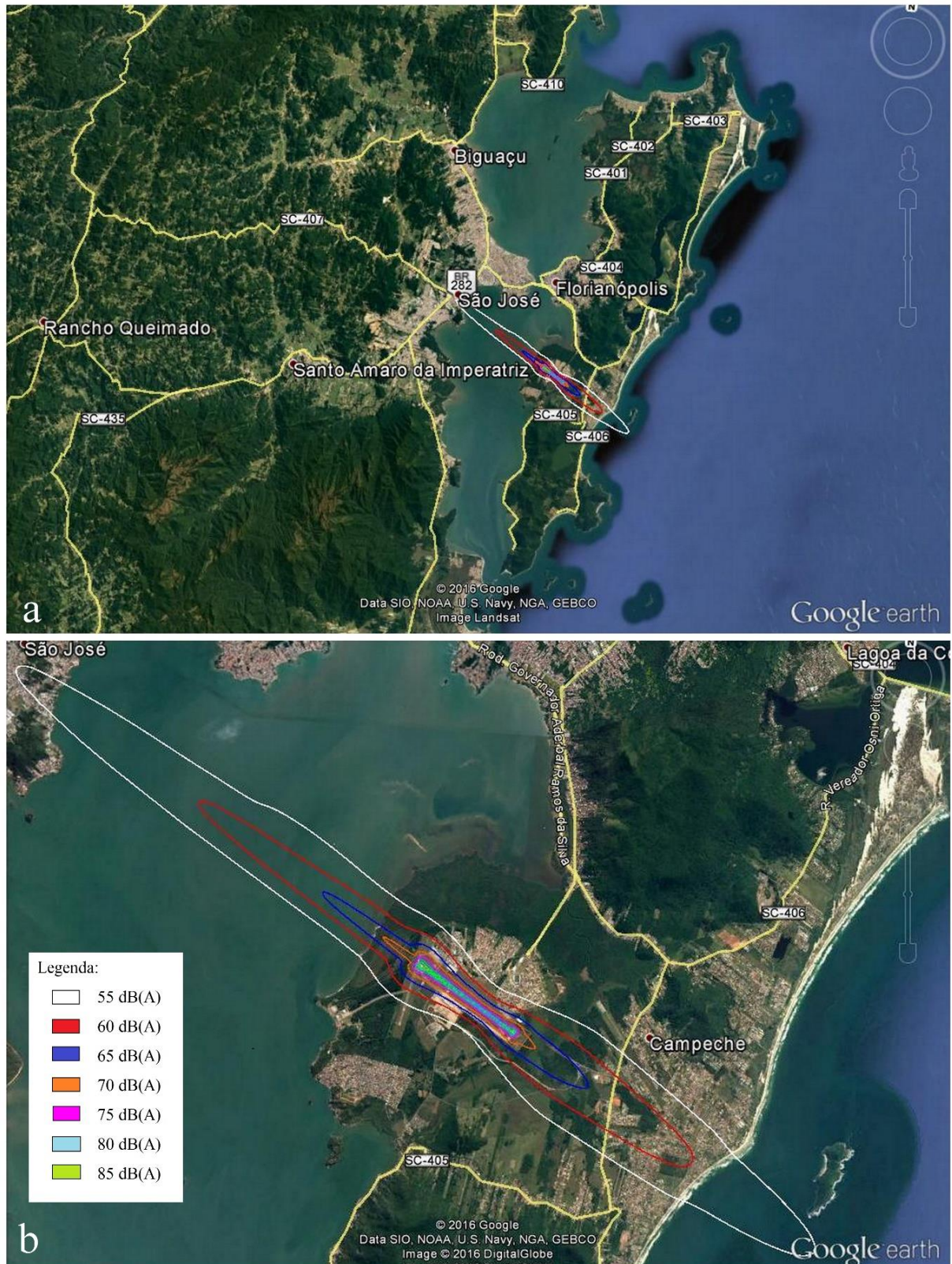
Fonte: Adaptado de APONTE (2016).

4.2. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS EXPOSTAS AO RUÍDO

As áreas expostas ao ruído aeronáutico proveniente do Aeroporto Internacional Hercílio Luz foram definidas levando-se em conta as CCR de L_{dn} , partindo da curva de valor de 55 dB(A). Na Figura 4.3, do geral (4.3a) ao detalhado (4.3.b), observam-se as CCR para L_{dn} do SBFL, que variam de 5 em 5 dB(A). A curva mais afastada da pista do aeroporto é a de L_{dn} de 55 dB(A), cor branca, e a curva mais próxima à pista é a de L_{dn} de 85 dB(A), cor verde-limão.

Com o auxílio dos mapas do site de geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF), e mapa dos setores censitários do Censo IBGE 2010, foi possível definir quais os bairros expostos ao ruído aeronáutico gerado pelo SBFL. Foi constatado que não somente Florianópolis, onde se localiza o aeroporto em estudo, está exposta ao ruído aeronáutico, mas também uma pequena porção do município de São José, do outro lado da baía.

Figura 4.3 – CCR em L_{dn} do Aeroporto Internacional Hercílio Luz.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

4.3. DEFINIÇÃO DA DENSIDADE DEMOGRÁFICA DOS BAIRROS EXPOSTOS AO RUÍDO

Para calcular a densidade demográfica de cada bairro exposto ao ruído aeronáutico proveniente do SBFL foi usada a Equação (6), sendo os cálculos realizados utilizando-se planilha Excel.

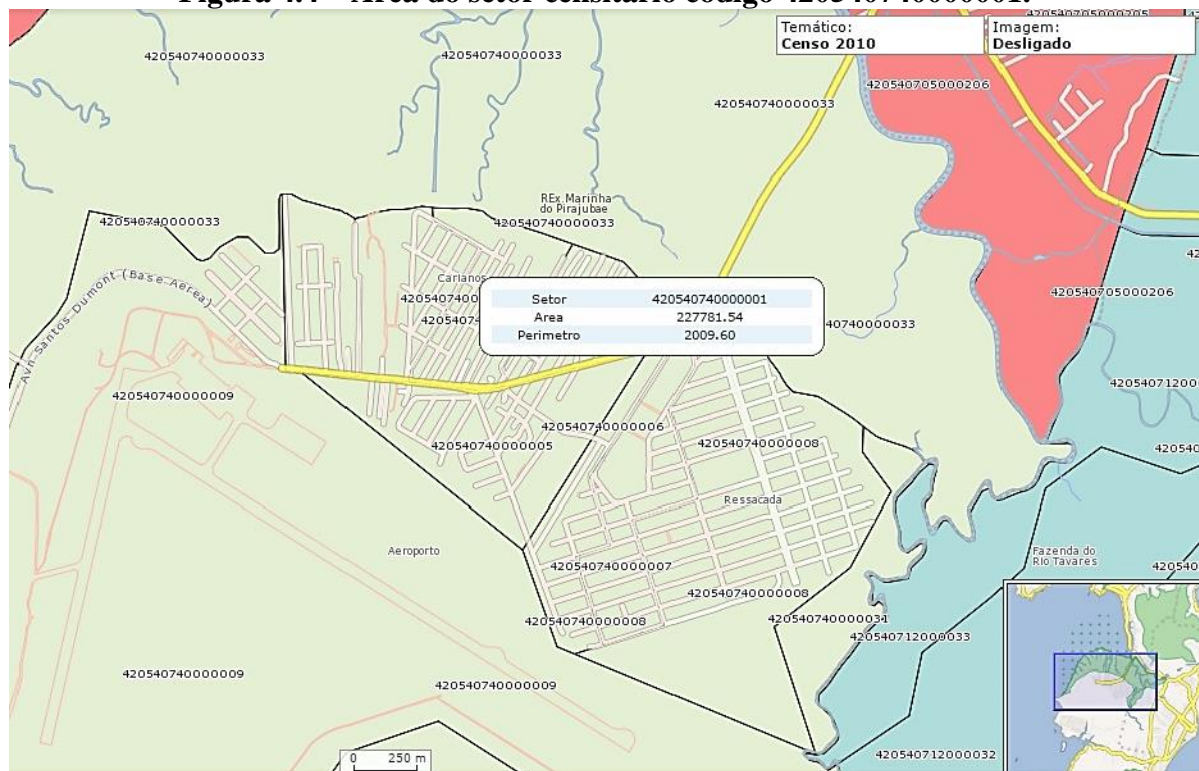
$$D = \frac{P}{A} \frac{\text{hab}}{\text{km}^2}, \quad (6)$$

Na qual D é a densidade demográfica do bairro, P a população total do bairro e A indica a área total do bairro. A informação a respeito da população total de cada bairro foi obtida do Censo IBGE 2010. A área total de cada bairro foi encontrada por dois métodos diferentes. Esses métodos serão explicados nas subseções seguintes.

4.3.1. Método 1: geoprocessamento da PMF

Para os bairros situados no município de Florianópolis, utilizaram-se as informações presentes no mapa temático “Censo 2010”. Foram anotadas as áreas de todos os setores censitários que compunham cada bairro – um exemplo é mostrado na Figura 4.4. Em seguida, com auxílio de planilha Excel somaram-se essas áreas, resultando na área total do bairro.

Figura 4.4 – Área do setor censitário código 420540740000001.

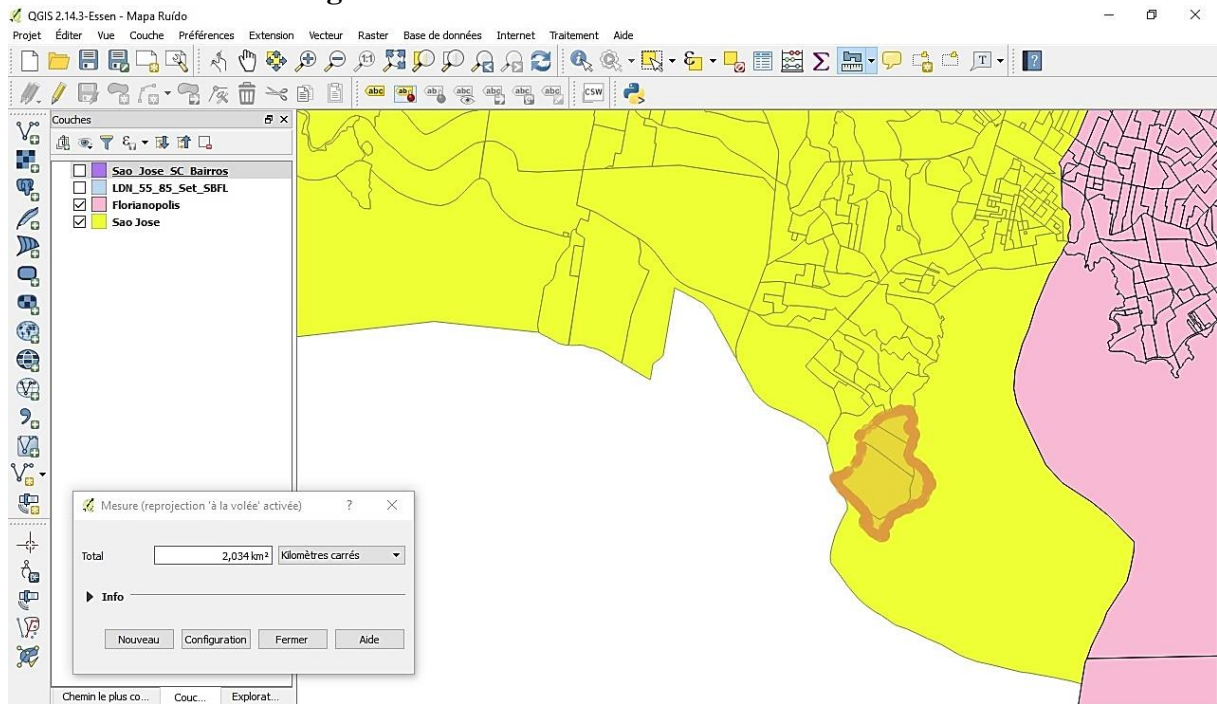


Fonte: Autoria própria.

4.3.2. Método 2: QGIS

Para os bairros situados no município de São José, a área total de cada bairro foi encontrada usando-se a ferramenta “*Mesure*” – medida, em português. A Figura 4.5 mostra um exemplo, com o bairro Ponta de Baixo. Demais imagens estão contidas no Apêndice A.

Figura 4.5 – Área total do bairro Ponta de Baixo.



Fonte: Autoria própria.

4.4. QUANTIFICAÇÃO DA POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO

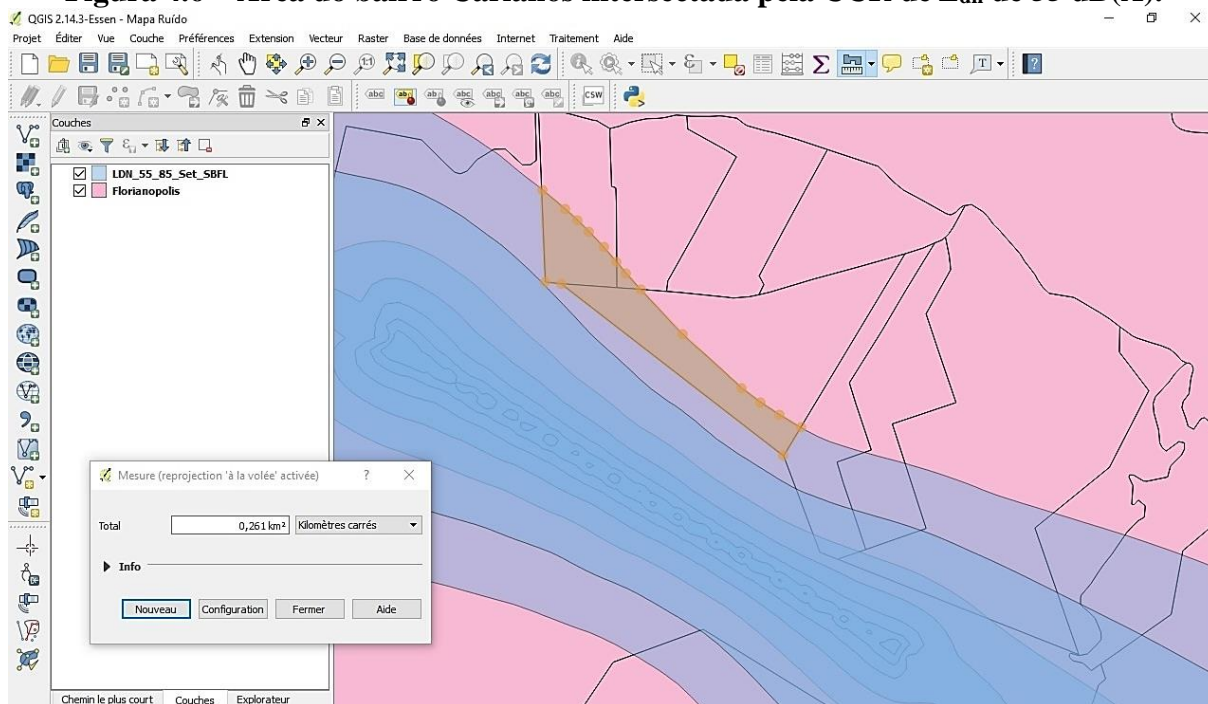
Conhecida a densidade demográfica de cada bairro, a quantificação da população exposta ao ruído, dado a métrica escolhida, foi feita por meio da Equação (7).

$$P = D \times A_{CCR} \text{ hab, (7)}$$

Na qual P representa a população exposta de cada bairro isoladamente ao ruído aeronáutico, D a densidade demográfica do bairro e A_{CCR} como sendo a área do bairro dentro de uma CCR de determinado valor, ou entre duas CCR (quando for o caso).

As áreas intersectadas de cada bairro por uma dada CCR foram medidas da mesma maneira que as áreas dos bairros de São José, utilizando-se o já citado Método 2. Na Figura 4.6 encontra-se um exemplo, mostrando a área do bairro Carianos, em Florianópolis, intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A). Demais imagens estão contidas no Apêndice A.

Figura 4.6 – Área do bairro Carianos intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



Fonte: Autoria própria.

Conhecendo-se a população exposta de cada bairro ao ruído aeronáutico, a população total foi encontrada somando-se, em planilha Excel, todas as populações.

4.5. QUANTIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EXPOSTAS AO RUÍDO

Para as métricas usadas pela Diretiva 2002/49/CE, L_{den} e L_{night} , foram quantificadas as edificações residenciais expostas ao ruído aeronáutico. Para realizar estas quantificações contou-se novamente com o auxílio do site de geoprocessamento da PMF, utilizando-se desta vez o mapa temático “Plano Diretor”.

No Google Earth, cada quadra foi individualmente e cuidadosamente observada, analisando-se onde haviam edificações, se a quadra tinha característica residencial ou outra característica diferente dela, se as características observadas conferiam com as descritas no zoneamento do Plano Diretor e, principalmente, nos casos onde uma CCR cortava uma quadra, analisando quais residências estavam no interior e quais estavam no exterior da CCR.

Recorreu-se ao site de geoprocessamento da PMF sobretudo pela dificuldade de identificar se uma dada edificação representava uma residência, uma casa por exemplo, ou parte de uma residência, como uma garagem externa ou um salão de festas.

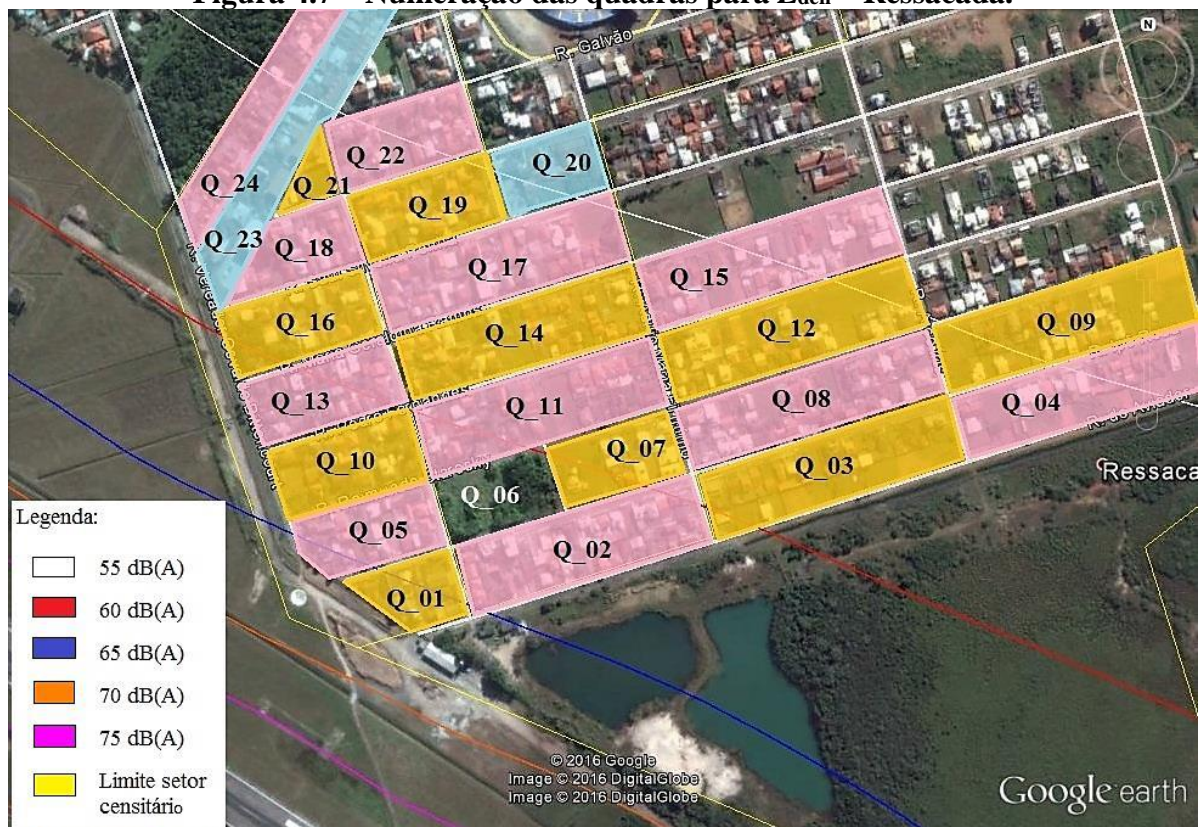
Assim, considerou-se como edificação todo lote já numerado, mesmo aqueles que não apresentavam contorno de edificação aparente no mapa temático “Plano Diretor”, pois confirmou-se por observação no Google Earth que a edificação já existia. Também foram

contabilizadas como edificações aquelas que apareciam no Google Earth, porém estavam como Sem Número (SN) no mapa temático, mas já possuíam o contorno de edificação aparente no mesmo.

Na Figura 4.7 observa-se a numeração das quadras do bairro Ressacada, levando-se em conta as CCR para L_{den} (a coloração das quadras não tem nenhum significado especial, serve somente para identificar cada quadra). Volume completo de imagens indicando a numeração das quadras encontram-se no Apêndice B. Na Figura 4.8 mostra-se, a título de exemplificação, a quadra Q_01 visualizada no site de geoprocessamento da PMF.

No Apêndice C, encontram-se tabelas que mostram a quantidade de edificações residenciais por quadra em cada faixa de valor de exposição sonora, tanto para a métrica de L_{den} quanto para a métrica de L_{night} , nos bairros Carianos e Ressacada.

Figura 4.7 – Numeração das quadras para L_{den} – Ressacada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.8 – Indicação da quadra Q_01 no Plano Diretor.

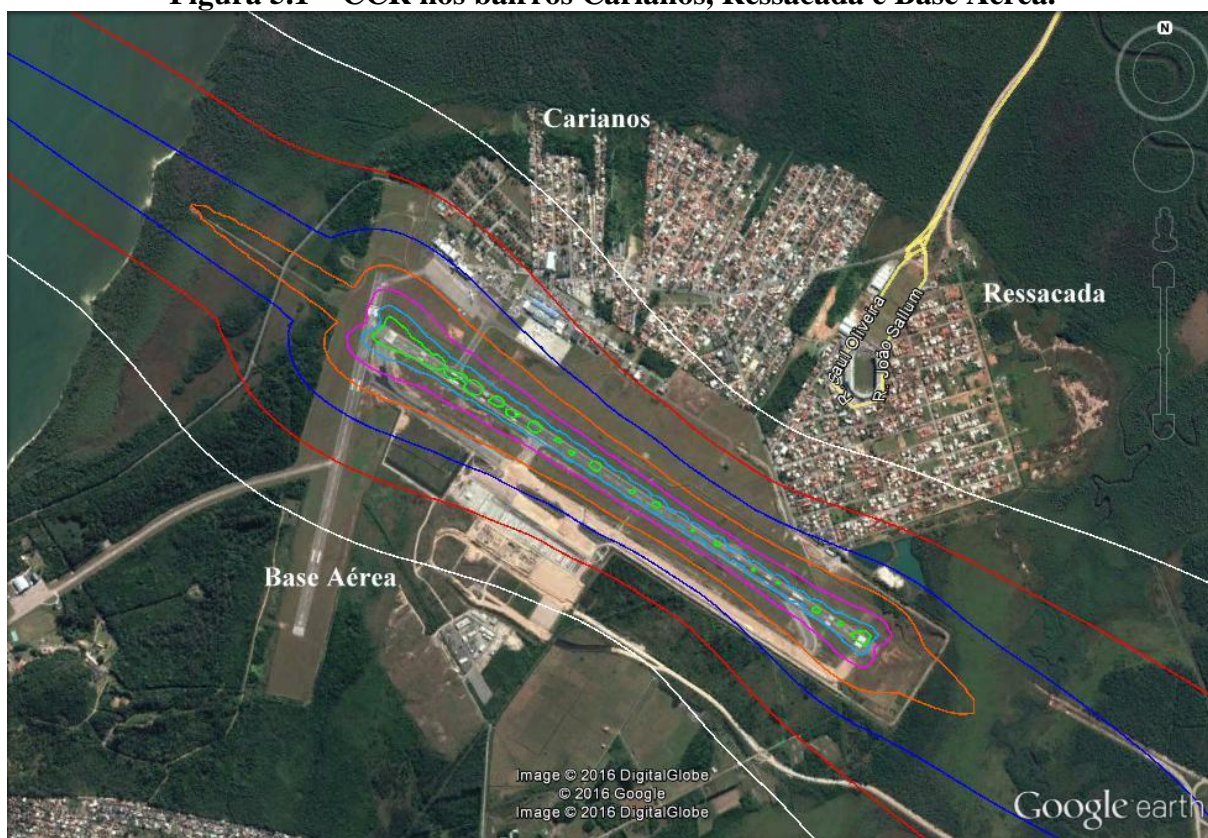


Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS

Foi constatado que os bairros expostos ao ruído aeronáutico com nível L_{dn} igual ou superior a 55 dB(A) são, em Florianópolis: Base Aérea, Carianos, Ressacada (Figura 5.1), Autódromo, Campeche Central, Campeche Leste, Campeche Sul, Campus e Moenda (Figura 5.2); e em São José: Centro, Fazenda Santo Antônio e Ponta de Baixo (Figura 5.3). A linha branca representa a CCR de valor L_{dn} de 55 dB(A).

Figura 5.1 – CCR nos bairros Carianos, Ressacada e Base Aérea.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

Figura 5.2 – CCR nos bairros Campeche (Central, Leste e Sul), Autódromo, Moenda e Campus.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

Figura 5.3 – CCR nos bairros Centro, Fazenda Santo Antônio e Ponta de Baixo.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

5.1. DEFINIÇÃO DA DENSIDADE DEMOGRÁFICA

A partir do Método 1 (geoprocessamento da PMF) e do Método 2 (QGIS) explicados na Seção 4.3, as áreas dos bairros foram encontradas e a densidade demográfica de cada um calculada com a Equação (6). O Quadro 5.1 mostra a população por bairro segundo o Censo IBGE 2010, bem como a área de cada bairro e a respectiva densidade demográfica.

Quadro 5.1 – População total residente por bairro e densidade demográfica.

Bairro – Município/UF	Número de habitantes	Área (km ²)	Densidade (hab/km ²)
Autódromo – Florianópolis/SC	694	2,006	345,96
Base Aérea – Florianópolis/SC	519	6,658	77,95
Campeche Central – Florianópolis/SC	3.533	4,204	840,39
Campeche Leste – Florianópolis/SC	4.373	1,941	2252,96
Campeche Sul – Florianópolis/SC	4.498	1,818	2474,15
Campus – Florianópolis/SC	0	1,899	0,00
Carianos – Florianópolis/SC	4.651	1,304	3566,72
Moenda – Florianópolis/SC	859	2,541	338,06
Ressacada – Florianópolis/SC	3.066	1,990	3321,61
Centro – São José/SC	4.376	1,420	2159,15
Fazenda Santo Antônio – São José/SC	6.610	2,199	1990,00
Ponta de Baixo – São José/SC	2.156	2,034	1059,98

Fonte: Autoria própria.

Aqui é possível perceber que os bairros com as maiores densidades demográficas são justamente os bairros mais próximos à pista do aeroporto SBFL – Carianos e Ressacada. A Base Aérea, bairro onde se localiza o aeroporto em estudo, é o bairro mais exposto de todos em extensão, porém possui uma densidade demográfica muito baixa. O bairro Campus não possui população alguma que ali habite, porém existem pessoas que ali trabalham, e os bairros Autódromo e Moenda possuem uma densidade demográfica relativamente baixa.

5.2. MÉTODO RBAC

Segundo o Quadro E-2 do RBAC 161 (2013), que se encontra no Anexo A, para níveis de L_{dn} inferiores a 65 dB(A), todos os usos do solo são compatíveis. Porém, outras legislações que tratam de ruído ambiental trazem parâmetros um pouco mais severos.

O primeiro exemplo vem da NBR 10151. No Quadro 5.2 são apresentados os valores limites em L_{dn} segundo a ocupação do solo. Os valores foram calculados usando-se a Equação (3).

O segundo exemplo vem da EPA (1974, *apud* NARDI, 2008). O órgão americano estabelece que, em zonas residenciais, de hospitais ou de escolas, para níveis de L_{dn} iguais ou superiores a 55 dB(A), passa a existir “interferência na atividade”, em outras palavras, incômodo. Embora o objetivo deste trabalho não seja avaliar o incômodo associado às operações aeronáuticas do SBFL, é interessante mensurar a quantidade de pessoas que podem estar incomodadas com o ruído aeronáutico, visto que o incômodo pode gerar reclamações, e as reclamações podem gerar ações restritivas quanto à operação do aeroporto (NABINGER, 2005).

Quadro 5.2 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos.

Tipos de áreas	L_{dn} dB(A)
Áreas de sítios e fazendas	43
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	53
Área mista, predominantemente residencial	58
Área mista, com vocação comercial e administrativa	63
Área mista, com vocação recreacional	65
Área predominantemente industrial	70

Fonte: Adaptado de NBR 10151 – Tabela 1.

No Quadro 5.3 observa-se a população exposta ao ruído de nível L_{dn} igual ou superior a 55 dB(A). Existem, portanto aproximadamente 12.600 pessoas expostas à, no mínimo, 55 dB(A) de nível de pressão sonora dia-noite.

O Quadro 5.4 apresenta a população exposta ao ruído de nível L_{dn} igual ou superior a 65 dB(A). Percebe-se, que o número de pessoas expostas a, no mínimo, 65 dB(A) de nível de pressão sonora dia-noite é muitas vezes menor ao número de pessoas expostas à no mínimo 55 dB(A), representando menos de 3% da população de 12.600 habitantes.

Quadro 5.3 – População exposta ao ruído aeronáutico, $L_{dn} = 55$ dB(A).

Bairro – Município/UF	Intersecção 55 dB(A) (km ²)	População exposta a no mínimo 55 dB(A) (habitantes)
Autódromo – Florianópolis/SC	2,006	694
Base Aérea – Florianópolis/SC	4,697	366
Campeche Central – Florianópolis/SC	1,128	948
Campeche Leste – Florianópolis/SC	0,879	1980
Campeche Sul – Florianópolis/SC	1,804	4463
Campus – Florianópolis/SC	0,960	0
Carianos – Florianópolis/SC	0,261	931
Moenda – Florianópolis/SC	1,125	380
Ressacada – Florianópolis/SC	0,619	1337
Total Florianópolis		11100
Centro – São José/SC	0,259	515
Fazenda Santo Antônio – São José/SC	0,264	877
Ponta de Baixo – São José/SC	0,074	78
Total São José		1470
Total		12570

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5.4 – População exposta ao ruído aeronáutico, $L_{dn} = 65$ dB(A).

Bairro – Município/UF	Intersecção 65 dB(A) (km ²)	População exposta a no mínimo 65 dB(A) (habitantes)
Autódromo – Florianópolis/SC	0,141	49
Base Aérea – Florianópolis/SC	2,443	190
Ressacada – Florianópolis/SC	0,048	104
Total		343

Fonte: Autoria própria.

5.2.1. Comparação dos resultados com a NBR 10151

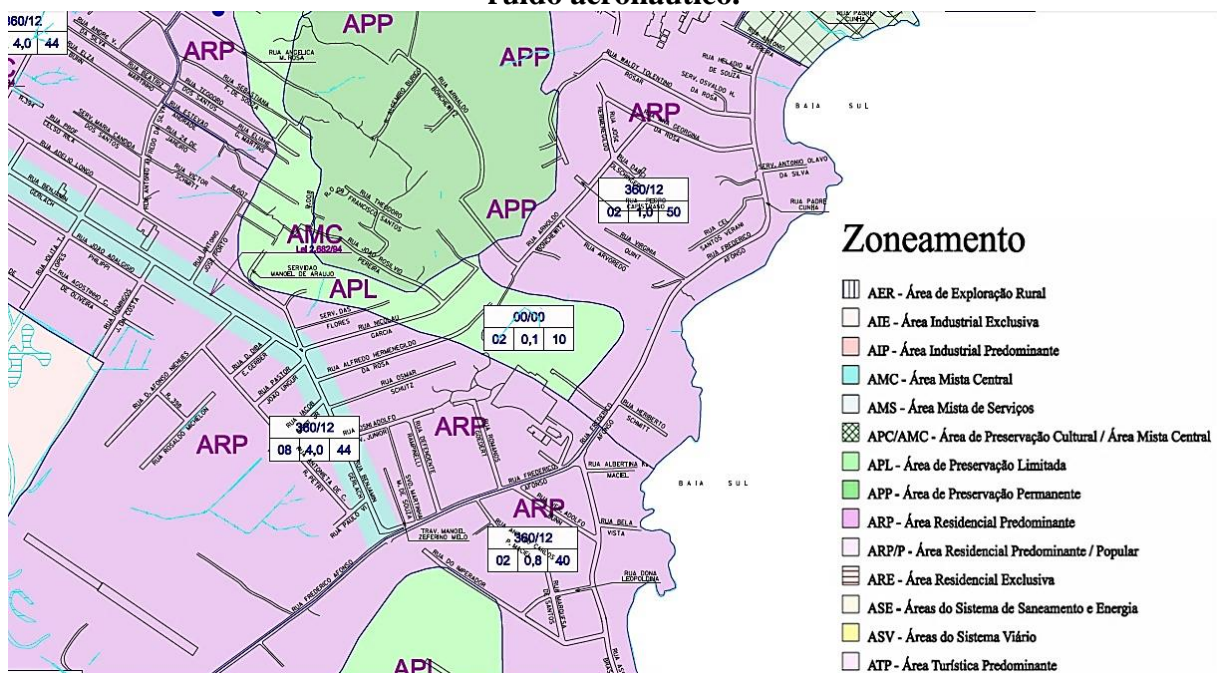
Com o objetivo de avaliar se os níveis de exposição sonora das áreas expostas ao ruído aeronáutico proveniente do Aeroporto Hercílio Luz atendem à norma NBR 10151, foram consultados os planos diretores de Florianópolis e São José. Estes documentos apresentam o zoneamento dos municípios citados e definem o uso e ocupação do solo.

São José

Em São José, conforme visto na Figura 5.3, há somente uma pequena porção do território exposta ao ruído aeronáutico estudado. Na Figura 5.4 é possível ver que existem 4 tipos diferentes de zonas expostas, sendo predominante as ARP (Área Residencial Predominante), e uma APL (Área de Preservação Limitada). Para fins de avaliação segundo NCA, pressupõe-se que APL e APP sejam consideradas como “Áreas de sítios de fazendas”, enquanto ARP como “Área estritamente residencial urbana”, e AMC como “Área mista, com vocação comercial e administrativa”.

Pode-se afirmar então que em São José, com base no Quadro 5.2, somente a AMC estaria dentro dos parâmetros esperados. Para as APL, APP e ARP, os níveis de ruído estariam acima dos limites previstos pela NBR 10151.

Figura 5.4 – Zoneamento de São José segundo Plano Diretor vigente: zona exposta ao ruído aeronáutico.

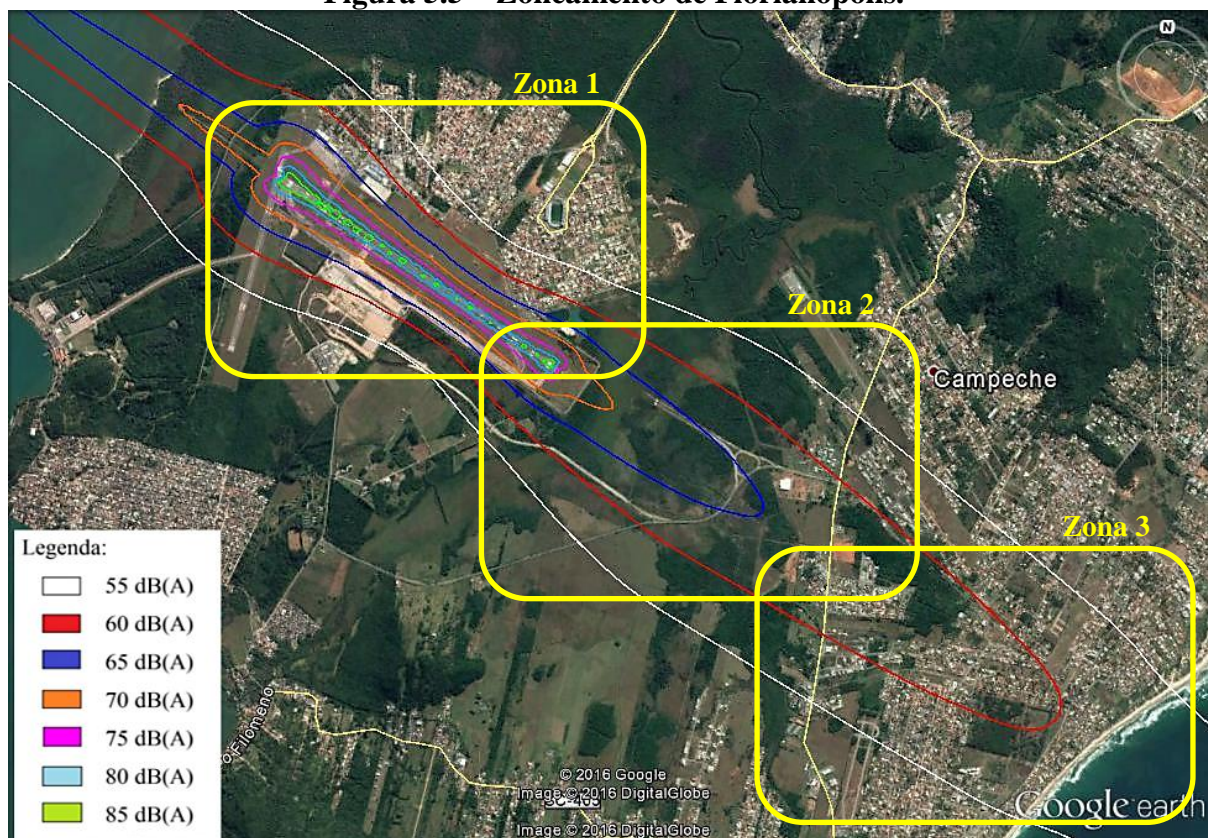


Fonte: Plano Diretor de São José (2013).

Florianópolis

Em Florianópolis, onde o aeroporto SBFL está localizado, a área exposta ao ruído aeronáutico é bem maior. Em função do tamanho desta área em estudo dividiu-se a mesma em 3 zonas diferentes, objetivando melhor avaliação e compreensão. A primeira delas é aquela mais próxima da pista do aeroporto. A terceira a mais afastada da pista do aeroporto, e a segunda está localizada entre a primeira e a terceira. A Figura 5.5 exibe cada uma dessas zonas.

Figura 5.5 – Zoneamento de Florianópolis.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

Observando a Figura 5.6, pode-se perceber que existem diversos tipos de áreas na zona 1, segundo o tipo de ocupação, expostas ao ruído aeronáutico. Todavia, em função da extensão, as mais importantes são as ARP, ARM (Área Residencial Mista) e AMS (Área Mista de Serviços).

Na Figura 5.7 nota-se que existem ainda mais tipos de áreas, desta vez da zona 2, expostas ao ruído. Podemos citar como de maior importância, ainda em função da extensão, as APL, APP, ARP, AMC e AMS.

Na zona 3 (Figura 5.8) observa-se que, diferentemente das outras duas zonas, existe menor diversificação de uso/ocupação do solo. Nela, a zona largamente predominante é a ARP, seguida da AMS.

Semelhante a São José, em Florianópolis são poucas as áreas que estão com o nível de ruído dentro dos limites permissíveis. Todas as AMC e AMS estão dentro dos parâmetros esperados. Porém nas APL, APP e ARP e ARM, os níveis de ruído estariam acima dos limites previstos pela NBR 10151.

O interessante a destacar aqui é que, embora existam áreas onde não haja população exposta ao ruído aeronáutico (ou com uma população muito pequena), é exatamente nestas áreas onde os níveis de exposição sonora estão mais acima do limite. Estas áreas não

Figura 5.8 – Zoneamento de Florianópolis segundo Plano Diretor vigente: zona 3 exposta ao ruído aeronáutico.



Fonte: Plano Diretor de Florianópolis (2014).

5.3. MÉTODO DIRETIVA 2002/49/CE

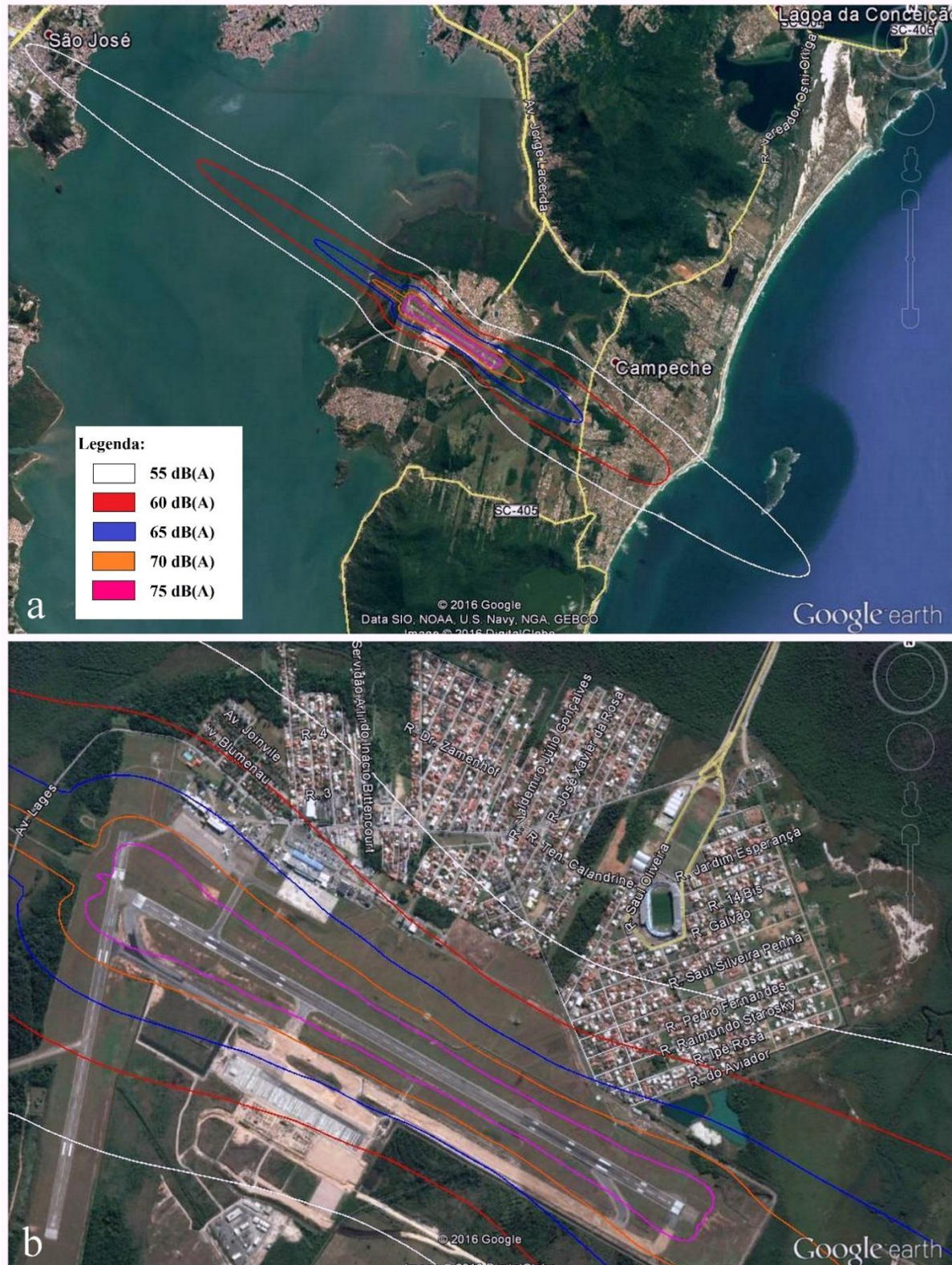
Primeiramente, reitera-se aqui que a Diretiva 2002/49/CE usa a métrica nível de pressão sonora dia-anoitecer-noite, L_{den} , como parâmetro para avaliar incômodo, e a métrica nível de pressão sonora noite, L_{night} , como parâmetro para avaliar a perturbação do sono. Segundamente, para aplicação da Diretiva Europeia, a área de estudo foi limitada aos bairros Carianos e Ressacada. Esta escolha é função da limitação na modelagem das CCR, devido ao desconhecimento das rotas reais das aeronaves.

O desconhecimento da rota real das aeronaves levou à adoção de rotas padronizadas, e estas últimas podem não corresponder às rotas reais. Assim, as CCR, principalmente aquelas de valores mais baixos, poderão sofrer alterações, ficando mais inclinadas nas extremidades para direção Norte ou para direção Sul, em relação ao eixo longitudinal das próprias CCR.

Porém, devido à proximidade dos bairros escolhidos com a pista 14-32 do aeroporto SBFL e a posição destes em relação à mesma, em paralelo (Figuras 5.9.b e 5.10.b), o desconhecimento da rota das aeronaves não interferiria na exposição real destes bairros. A modelagem feita por APONTE (2016) partiu de um mês do ano, setembro. Considerando que as condições meteorológicas e os tipos de aeronaves/potência na fonte sejam os mesmos, o único fator que mudaria o nível de exposição sonora ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada seria o volume do tráfego aéreo, uma vez que os descritores L_{den} e L_{night} são acumulativos.

Na Figura 5.9, do geral (5.9.a) ao detalhe (5.4.b), observam-se as CCR para L_{den} do SBFL, que variam de 5 em 5 dB(A). A curva mais afastada da pista do aeroporto é a de L_{den} de 55 dB(A), cor branca, e a curva mais próxima à pista é a de L_{den} de 75 dB(A), cor rosa.

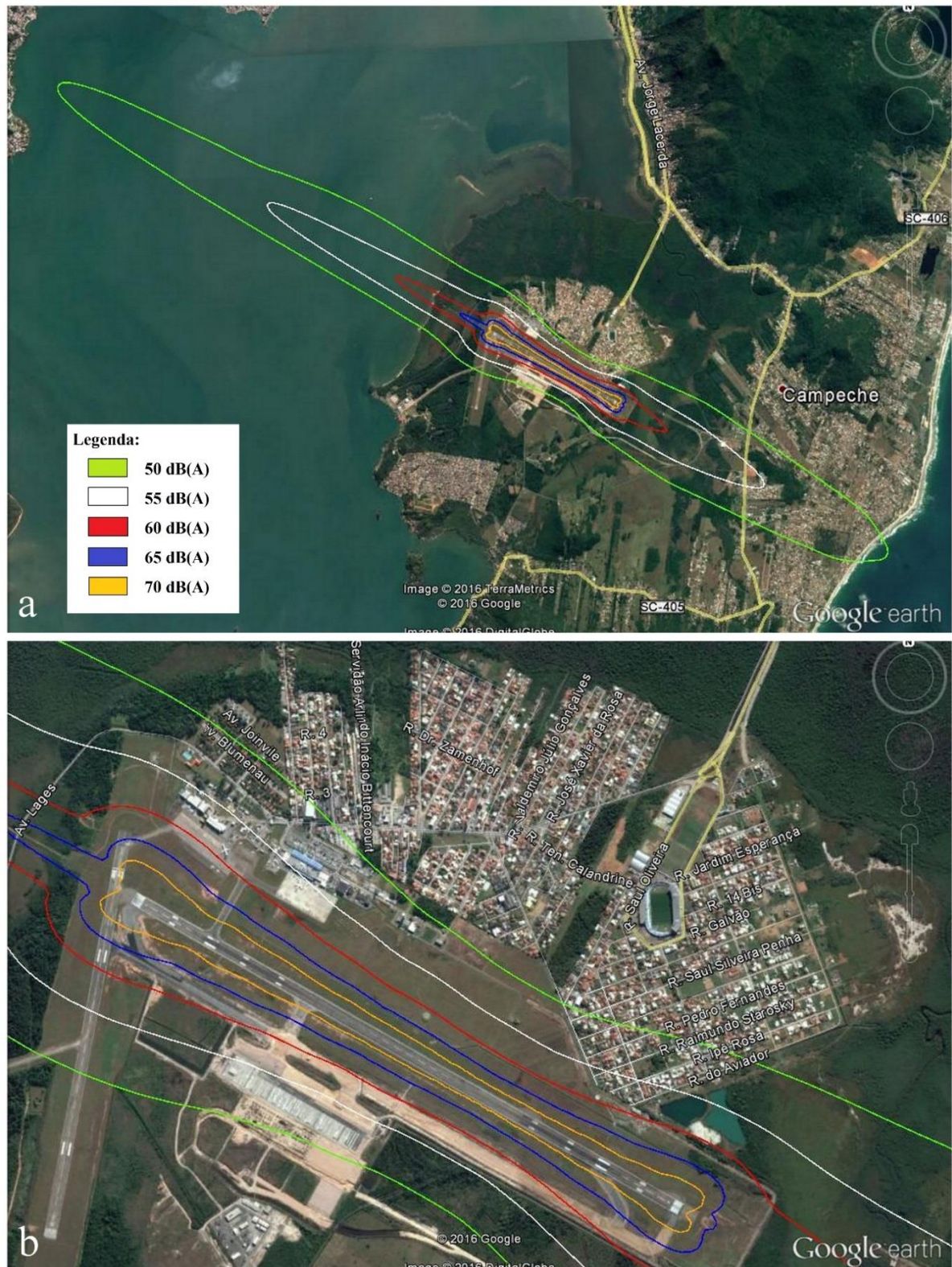
Figura 5.9 – CCR em L_{den} do Aeroporto Internacional Hercílio Luz.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

A Figura 5.10 mostra as CCR para L_{night} do SBFL, que também variam de 5 em 5 dB(A). A curva mais afastada da pista do aeroporto é a de L_{night} de 50 dB(A), cor verde-limão, e a curva mais próxima à pista é a de L_{night} de 70 dB(A), cor laranja-claro.

Figura 5.10 – CCR em L_{night} do Aeroporto Internacional Hercílio Luz.



Fonte: CCR: APONTE (2016).

O Quadro 5.5 apresenta o número de pessoas (em centenas)⁶ expostas ao ruído aeronáutico, medido em L_{den} , nas faixas de 55 a 59 dB(A), 60 a 64 dB(A) e de 65 a 69 dB(A). Para níveis acima de 70 dB(A), não há pessoas expostas nos bairros em estudo. O Quadro 5.6 apresenta, para as mesmas faixas de valores, o número de edificações residenciais (em dezenas)⁷ expostas ao ruído aeronáutico, também medido em nível de pressão sonora dia-noitecer-noite. No Quadro 5.7 é apresentada a densidade de habitantes por residência⁸, calculada a partir dos resultados exibidos nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Quadro 5.5 – Pessoas expostas ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada, L_{den} .

Bairro	Intersecção 55/60 dB(A) (km ²)	Intersecção 60/65 dB(A) (km ²)	Intersecção 65/70 dB(A) (km ²)	População exposta (habitantes)		
				55 a 59 dB(A)	60 a 64 dB(A)	65 a 69 dB(A)
Carianos	0,302	0,002	0,000	1100	0	0
Ressacada	0,272	0,215	0,064	600	500	100
Total				1700	500	100

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5.6– Edificações expostas ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada, L_{den} .

Bairro	Número de edificações residenciais expostas		
	55 a 59 dB(A)	60 a 64 dB(A)	65 a 69 dB(A)
Carianos	260	0	0
Ressacada	300	100	10
Total	560	100	10

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5.7– Densidade de habitantes por residência expostos ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada, L_{den} .

Bairro	Densidade por faixa de exposição sonora (hab/residência)		
	55 a 59 dB(A)	60 a 64 dB(A)	65 a 69 dB(A)
Carianos	4,23	0	0
Ressacada	2,00	5,00	10,00

Fonte: Autoria própria.

⁶ Quando a Diretiva 2002/49/CE pede o número de pessoas/edificações (em centenas), ela faz isso no sentido de pedir um número arredondado.

⁷ A Diretiva 2002/49/CE pede o número de edificações em centenas. Por questões de amostra pequena, foi substituído por número de edificações em dezenas.

⁸ Aqui uma residência equivale a uma edificação (residencial).

Embora a densidade demográfica de Carianos (3566,72 hab/km²) seja maior que a da Ressacada (3321,61 hab/km²), o que significa que a densidade de habitantes por residência deva ser maior em Carianos do que na Ressacada, ainda assim o valor encontrado para a densidade de habitantes por residência para a faixa de 55 a 59 dB(A) de L_{den} é significativo – duas vezes maior em Carianos em comparação com a Ressacada. Observando-se a divisão de quadras no bairro Carianos para a métrica L_{den} (Apêndice B), verifica-se que mais de um quarto da área exposta ao nível de pressão sonora dia-noitecer-noite na faixa de 55 a 59 dB(A) é de uso não-residencial, gerando, portanto, essa densidade de habitantes por residência mais elevada no bairro Carianos em relação ao bairro Ressacada.

Ainda segundo o Quadro 5.7, é possível notar que, conforme os níveis de exposição sonora vão aumentando, a densidade de habitantes por residência no bairro Ressacada também vai aumentando, indicando que haja uma relação diretamente proporcional entre o nível de exposição sonora e a densidade de habitantes por residência neste bairro. Todavia, o padrão de ocupação neste bairro é predominantemente residencial e, como mostra a Figura 5.4.b, existe uma homogeneidade de ocupação do solo nas áreas intersectadas pelas CCR, isto é, não existem atualmente quadras onde mais da metade da sua área não possua residências, e outros onde toda a quadra seja habitada. Além disso, a região é caracterizada por ser do tipo residencial unifamiliar (casas) e não multifamiliar (prédios). Esperava-se, portanto, que a densidade de habitantes por residência não apresentasse qualquer correlação com o nível de exposição sonora, como está apresentando. Assim, fica evidenciado que não é possível correlacionar a população exposta ao ruído aeronáutico com as edificações residenciais expostas ao ruído aeronáutico do aeroporto SBFL, uma vez que a metodologia utilizada para encontrar cada um dos resultados neste trabalho é distinta.

O Quadro 5.8 apresenta, por sua vez o número de pessoas (em centenas) expostas ao ruído aeronáutico, medido em L_{night} , nas faixas de 50 a 54 dB(A), 55 a 59 dB(A) e de 60 a 64 dB(A). Para níveis acima de 60 dB(A), não há população significativa exposta nos bairros em estudo. O Quadro 5.9 apresenta, para as mesmas faixas de valores, o número de edificações residenciais (em dezenas) expostas ao ruído aeronáutico, também medido em nível de pressão sonora noite.

Quadro 5.8 – Pessoas expostas ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada,

Bairro	<i>L_{night}</i>			População exposta (habitantes)		
	Intersecção	Intersecção	Intersecção	50 a 54	55 a 59	60 a 64
	50/55 dB(A) (km ²)	55/60 dB(A) (km ²)	60/65 dB(A) (km ²)			
Carianos	Desprezado ⁹	0	0	0	0	0
Ressacada	0,235	0,114	0,003	500	200	0
Total				500	200	0

Fonte: Autoria própria.

Quadro 5.9 – Edificações expostas ao ruído aeronáutico no bairro Ressacada, *L_{night}*.

Número de edificações expostas	50 a 54 dB(A)	55 a 59 dB(A)
Total	150	50

Fonte: Autoria própria.

Nota-se, comparando as tabelas 5.5 e 5.8, que o número total estimado de pessoas, nos bairros considerados, incomodadas pelo ruído aeronáutico proveniente do aeroporto SBFL (2.300 habitantes), é maior do que o número total estimado de pessoas, nos mesmos bairros, com o sono perturbado pelo ruído aeronáutico (700 habitantes).

A Quadro 5.10 apresenta a área total (em km²) exposta a valores de *L_{den}* superiores a 55, 65 e 75 dB(A), respectivamente, e indica o número estimativo de habitações (em dezenas) e o número estimado de pessoas (em centenas) que vivem em cada uma dessas zonas.

Quadro 5.10 – Resumo Diretiva 2002/49/CE – bairros Carianos e Ressacada, *L_{den}*.

Índice	Exposição ao ruído, de no mínimo:		
	55 dB(A)	65 dB(A)	75 dB(A)
Área Total (km ²)	0,855	0,064	0
Edificações expostas	770	10	0
População exposta	2.300	100	0

Fonte: Autoria própria.

O ponto mais interessante a ser destacado aqui, é que para níveis de exposição sonora de *L_{den}* superiores a 75 dB(A), não existe exposição nos bairros considerados. Bairros estes que se encontram bem próximos à pista 14-32 do aeroporto SBFL. Isto significa que, levando-

⁹ A área foi desprezada, pois levava a resultados errôneos, estimando uma população onde não existia residências.

se em consideração a poluição sonora, as operações aeronáuticas do aeroporto SBFL ainda não atingiram um nível crítico.

5.3.1. Comparação dos resultados com a CMF N° 003/99

No Quadro 5.11 são apresentados os valores limites em L_{den} e L_{night} segundo a ocupação do solo prevista na CMF N° 003/99. Os valores foram calculados usando-se as Equações (4) (nível de pressão sonora dia-anoitecer-noite) e (5) (nível de pressão sonora noite).

Na Figura 5.6 (p. 54), as áreas expostas ao ruído aeronáutico nos bairros Carianos e Ressacada são predominantemente as dos tipos ARP, ARM e AMS. Existem também algumas AVL (Área Verde de Lazer) e ACI (Área Comunitárias Institucional).

Levando-se em consideração a localização das AMC e AMS existentes e os níveis sonoros à que estão expostos, é possível concluir que todas encontram-se dentro dos limites máximos permissíveis previstos pela lei CMF N° 003/99, tanto para L_{den} , quanto para L_{night} .

Para os demais tipos de áreas, os níveis de exposição sonora encontram-se todos no limiar do aceitável, ou ultrapassam os limites máximos permissíveis na referida lei. Isto indica que o ruído aeronáutico proveniente no Aeroporto Internacional Hercílio Luz é passível de reclamações e existe apoio legal para tal.

Quadro 5.11 – Limites máximos permissíveis de ruído em Florianópolis.

Zonas de Uso	L_{den} dB(A)	L_{night} dB(A)
Todas as Áreas Residenciais Exclusivas, Áreas de Exploração Rural, Áreas Mistas Rurais e Áreas de Preservação com uso Limitado	55	45
Todas as Áreas Residenciais Predominante, Áreas de Parque Tecnológico, Área Comunitárias Institucionais, Áreas Verdes de Lazer e Área Verdes de uso Privado;	60	50
Todas as Áreas Mistas Centrais e Áreas Turísticas Residenciais	65	55
Todas as Áreas Mistas de Serviço, Áreas Serviço Exclusivo e Áreas Industriais Exclusivas	70	60

Fonte: Adaptado de Lei Complementar CMF N° 003/99 – Anexo 1.

6. CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos do trabalho foram cumpridos por meio do cumprimento dos tópicos apresentados na Introdução.

No Capítulo 2 foi efetuado um estudo acerca do ruído. Nele foram abordados os impactos negativos do ruído sobre a saúde humana, as peculiaridades do ruído ambiental, as características e métricas utilizadas para mensurar o ruído aeronáutico, e uma revisão de normas e legislações relativas à ruído ambiental, urbano e aeronáutico foi realizada.

Dentro do Capítulo 3 foi apresentado o Aeroporto Internacional Hercílio Luz. Foi retratada a história deste aeroporto, que remonta os primórdios da aviação na América do Sul, expostos seu cenário atual de operações e capacidade, e discorrido a respeito das previsões relacionadas à sua expansão, que se encontra em processo de execução.

Adentrando o Capítulo 4, avançou-se a pesquisa por meio da apresentação das diferentes etapas e processos metodológicos que se fizeram substanciais para alcançar os objetivos posteriormente expostos através dos resultados relatados e discutidos no Capítulo 5.

Por meio dos resultados obtidos, foi possível constatar que os níveis de exposição sonora a que está sujeita a população que reside nas proximidades do aeroporto SBFL não estão em conformidade com as normas e legislações consideradas pela autora na confrontação dos resultados. Consequentemente, seria interessante realizar estudos sobre incômodo associado ao ruído aeronáutico oriundo do aeroporto em estudo, na intenção de melhor avaliar o impacto desse ruído sobre a população que ali reside.

Se os resultados vierem a confirmar a necessidade de serem reduzidos os níveis de exposição sonora, uma alternativa seria coibir a operação de aeronaves muito ruidosas no aeroporto SBFL. Outra opção seria restringir as operações de aeronaves no aeroporto – todavia o impacto econômico associado a esta opção deve ser cuidadosamente quantificado.

Por fim, sugere-se, se a alternativa se tornar viável, calcular a densidade demográfica por setor censitário e avaliar a população exposta ao ruído aeronáutico em cada setor censitário isoladamente – de acordo com o IBGE, a setorização dos bairros é feita no intuito de obter setores censitários com características homogêneas da população que o compõe. Juntamente, sugere-se que o estudo realizado segundo a Diretiva 2002/49/CE seja estendido aos demais bairros expostos ao ruído aeronáutico oriundo do aeroporto SBFL.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.2.1. Estimar a exposição da população ao ruído aeronáutico usando outra metodologia

A metodologia usada no presente trabalho para estimar a exposição da população próxima ao aeroporto SBFL ao ruído aeronáutico foi a metodologia proposta pela Diretiva Europeia, *Environmental Noise Directive* (END). Esta metodologia considera que todos os habitantes de uma edificação estão expostos a um mesmo nível de exposição sonora, sendo este o valor máximo de som incidente calculado nas fachadas do edifício.

Existem, porém, outros métodos e procedimento para estimar a exposição da população ao ruído aeronáutico. LICITRA *et al* (2012) citam além do END, outros 4 métodos para estimar a exposição da população residente em edificações ao ruído ambiental: *Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm* (VBEB), método alemão; NEAREST; *Average Level Exceedance* (ALE), método italiano; e CLOSEST.

No procedimento proposto pelo VBEB, os habitantes da edificação são considerados igualmente distribuídos ao longo do anel de pontos receptores localizados nas fachadas, seguindo as regras estabelecidas no método nacional alemão. O nível de exposição sonora é calculado para cada receptor no anel.

No método sugerido por NEAREST, o nível de exposição sonora de cada receptor no anel não é calculado. Em vez disso é assumido como valor aquele medido no receptor da rede de pontos mais próximo, sendo reduzido 3 dB objetivando ignorar as reflexões da fachada.

No método italiano ALE, os habitantes da edificação são considerados igualmente distribuídos nos pontos receptores localizados nas fachadas, cujos níveis de exposição sonora são maiores que a média aritmética dos valores calculados a partir de todos os receptores que compõem o anel.

O último dos métodos, nomeado de CLOSEST, assume que todos os habitantes da edificação estão expostos ao nível de exposição sonora igual ao valor medido no receptor da rede de pontos mais próximo ao edifício.

Contudo, vale destacar que estudos mostraram que, em relação ao ruído aeronáutico, diferenças muito pequenas foram observadas entre os métodos (END e VBEB), seguramente devido ao impacto mais homogêneo causado em cada edifício, quando comparado com o ruído proveniente de rodovias (LICITRA *et al*, 2012).

6.2.2. Realizar monitoramento de ruído do aeroporto SBFL

O RBAC 161 (2013) estabelece a necessidade de realizar monitoramento de ruído de aeródromos nas seguintes situações:

- (a) O operador do aeródromo que apresente média anual de movimento de aeronave nos últimos três anos acima de 120.000 (cento e vinte mil) e que possua regiões de uso residencial ou misto em mais de 50% das áreas definidas pelas curvas de ruído 65-75, 75-80 e 80-85 e acima de 85 dB de seu PEZR, isoladas ou conjuntamente, deverá apresentar à ANAC, para análise e aceitação, um projeto de monitoramento de ruído.
- (b) Nos casos em que forem constatados conflitos relacionados a ruído aeronáutico entre o aeródromo e a comunidade de seu entorno, que não se enquadrem na obrigatoriedade de elaboração de projeto de monitoramento de ruído, prevista no parágrafo (a) desta Seção, é facultado à ANAC determinar ao operador de aeródromo a implementação do projeto nas áreas do PEZR. (RBAC 161 (2013), p. 15)

No Aeroporto Internacional de Florianópolis, a média anual de movimentos de aeronaves em 2015 (31.500 movimentos) foi bem inferior aos 120.000 estabelecidos pela RBAC. Mesmo com a expansão, certamente não será atingida a média anual de 120.000 movimentos de aeronaves.

No entanto, como demonstrado no presente trabalho, os níveis de pressão sonora provenientes das operações do aeródromo estão no limiar ou mesmo acima dos níveis recomendados para a maioria das áreas nas proximidades do SBFL. O monitoramento do ruído seria então justificado pela muito provável existência de conflitos relacionados a ruído aeronáutico entre o aeródromo e a comunidade em seu entorno e, da mesma forma, para correlacionar resultados com um estudo sobre incômodo causado pelo ruído aeronáutico.

Isto posto, o monitoramento de ruído do aeroporto deve conter os pontos de medição de ruído, a metodologia utilizada na medição e um relatório que contenha informações suficientes para subsidiar ações mitigadoras quanto ao ruído aeronáutico (RBAC 161, 2013).

6.2.3. Verificar perda na transmissão das fachadas das edificações próximas ao SBFL

Os níveis pressão sonora para conforto acústico são estabelecidos na já citada NBR 10152. Esta norma estabelece os limites¹⁰ para os níveis de exposição sonora nos ambientes internos das edificações, de acordo com o seu uso, e segundo a frequência do som incidente. A NBR 12314, muito semelhante à NBR 10152, apresenta os critérios levando-se em consideração o ruído aeronáutico.

¹⁰ O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

Seria interessante verificar, através de modelagem validada por medições acústicas, qual é a perda na transmissão sonora das fachadas das edificações que se encontram próximas ao aeroporto SBFL.

Para realizar tal modelagem, é necessário estudar os diferentes tipos de fachadas encontradas nos bairros expostos. Neste estudo devem ser levantados quais são as características físicas e geométricas dessas fachadas: tipos de materiais constituintes da parede, e suas respectivas espessuras; quantidade e qualidade¹¹ das esquadrias; e as dimensões dos elementos.

Assim, avaliando-se qual é o isolamento acústico conferido pela fachada aos usuários da edificação, torna-se possível estimar se os níveis internos de exposição sonora ao ruído aeronáutico proveniente do aeroporto SBFL são satisfatórios.

¹¹ Por qualidade subentende-se não somente o tipo de material (ou tipos) que constitui a esquadria, mas também se a esquadria é estanque, isto é, se existem frestas por onde o som pode se infiltrar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC n. 161**: Planos de Zoneamento de Ruído de aeródromos – PZR. [S.l.], emenda n. 01, 2013. 18 p.

Agência Nacional de Aviação Civil. 2015. **Dados Estatísticos - Base de dados subdividida por ano: 2015**. Disponível em:

<<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>>.

Acesso em out. 2016.

APONTE G., Juan M. **Análise paramétrica de mapas estratégicos de ruído de aeroportos civis de passageiros: Um estudo de caso do aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis-SC**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 138 p.

ARANA, Miguel; MARTÍN, Ricardo San; NAGORE, Iñaki; PÉREZ, David. Using noise mapping to evaluate the percentage of people affected by noise. **Acta Acustica United With Acustica**, [S.l.], vol. 9, p. 550 – 554, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12314**: Aeronáutica – Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico. Rio de Janeiro, 1997. 6 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11415**: Ruído Aeronáutico. Rio de Janeiro, 1990. 10 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4 p.

Associação Nacional de Concessionárias de Aeroportos Brasileiros. **Aeroporto Internacional de Florianópolis**. Disponível em:

<<http://www.ancab.com.br/aeroportos/47-aeroporto-internacional-de-florianopolis>>. Acesso em out. 2016.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 380 p.

Câmara Municipal da Florianópolis. **Lei Complementar CMF Nº 003/99**: Dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público. Florianópolis, 1999. 14 p.

CAMPANÁRIO, Paulo. **Florianópolis, dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950 – 2050)**. Prefeitura de Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF), 2007. 55 p.

CLARK, Charlotte; STANSFELD, Stephan A. **The effect of nocturnal aircraft noise on health**: a review of recent evidence. [London]: Queen Mary University of London, 2011. 36 p.

Conselho da União Europeia; Parlamento Europeu. **Diretiva 2002/49/CE**: relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. [S.l.], 2002. 14 p. Disponível em: <europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32002L0049>. Acesso em ago. 2016.

Federal Aviation Administration. **Aviation Environmental Design Tool (AEDT)**. Disponível em: <https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/models/aedt/>. Acesso em set. 2016.

INFRAERO. **Aeroporto Internacional de Florianópolis – Hercílio Luz – História**. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-florianopolis-hercilio-luz/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em out. 2016.

INFRAERO. **Aeroporto Internacional de Florianópolis – Hercílio Luz**. Florianópolis, [2011?]. 21 slides, color. Disponível em: <licitacao.infraero.gov.br/arquivos.../APRESENT_Aud_Pub_Concorr_012.ppt>. Acesso em 04 out. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**.

KEPHALOPOULOS, Stylianos; PAVIOTTI, Marco; ANFOSSO-LÉDÉE, Fabienne. **Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)**. European Commission Joint Research Centre; Institute for Health and Consumer Protection. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. 180 p.

LICITRA, G.; ASCARI, E.; BRAMBILLA, G. Comparative Analysis of Methods to Estimate Urban Noise Exposure of Inhabitants. **Acta Acustica United With Acustica**, [S.l.], vol. 98, p. 659 – 666, 2012.

LONG, Marshall. **Architectural Acoustics**. USA: Elsevier, 2006. 844 p.

MESTRE, Vincent E.; WOOTEN, David C. Chapter 4: Noise impact analysis. In: RAU, John G.; WOOTEN, David C. **Environmental impact analysis handbook**. USA: McGraw-Hill, 1980. 70 p.

NABINGER, Luciano B. **Medições de ruído aeronáutico dentro da área II do Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre/RS**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 138 p.

NARDI, Aline S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano: Estudo de caso – área central de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 162p.

ODEGA, Alessandra. Projeto de expansão do Aeroporto Hercílio Luz recebe críticas da Fiesc. **Notícias do Dia**, [Florianópolis], 30 set. 2016. Disponível em: <<http://ndonline.com.br/florianopolis/coluna/alessandra-odega/projeto-de-expansao-do-aeroporto-hercilio-luz-recebe-criticas-da-fiesc>>. Acesso em out. 2016.

Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Lei Complementar N° 482**: Institui o Plano Diretor de Urbanismo do Município de Florianópolis que dispõe sobre a política de desenvolvimento urbano, o plano de uso e ocupação, os instrumentos urbanísticos e o sistema de gestão - Microzoneamento Campeche e Ribeirão da Ilha. Florianópolis, 2014.

Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Geoprocessamento Cooperativo**. Disponível em: <<http://geo.pmf.sc.gov.br>>. Acesso entre abr. e nov. 2016.

Prefeitura Municipal de São José. **Lei N° 1.604**: Fixa os objetivos, as diretrizes e as estratégias do Plano Diretor do Município de São José, Estado de Santa Catarina e dá outras providências – Anexo I. São José, 1985. Atualização Anexo I: 2013.

REYNOLDS, Douglas D. **Engineering principles of acoustics**: Chapter 12 – Human response to noise. USA: Allyn and Bacon, 1981. 49 p.

SANDOVAL, Marcio R. Latécoère – Aéropostale – Air France: uma epopéia da aviação comercial. **Blog Sterling Numismática**. Disponível em:

<<http://sterlingnumismatic.blogspot.com.br/2010/05/latecoere-aeropostale-air-france.html>>. Acesso em out. 2016

SANTAELLA, Thiago. Obras de ampliação do aeroporto Hercílio Luz seguem paradas e sem prazo de conclusão. **Diário Catarinense**, Florianópolis, 07 jan. 2016. Disponível em:

<<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2015/01/obras-de-ampliacao-do-aeroporto-hercilio-luz-seguem-paradas-e-sem-prazo-de-conclusao-4676513.html>>. Acesso em out. 2016.

Serviço de Informação Aeronáutica. **Carta de Aeródromo (ADC) – Florianópolis/Hercílio Luz, INTL (SBFL)**. 2 p. 2016. Disponível em:

<<http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas&filtro=1&nova=1>>. Acesso em jul. 2016.

SILVA, Graziela. Barreiras acústicas reduzem ruídos em regiões vizinhas a vias de fluxo intenso. **Revista eletrônica AECweb**. Disponível em:

<http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/barreiras-acusticas-reduzem-ruídos-em-regioes-vizinhas-a-vias-de-fluxo-intenso_8759_10_0>. Acesso em ago. 2016.

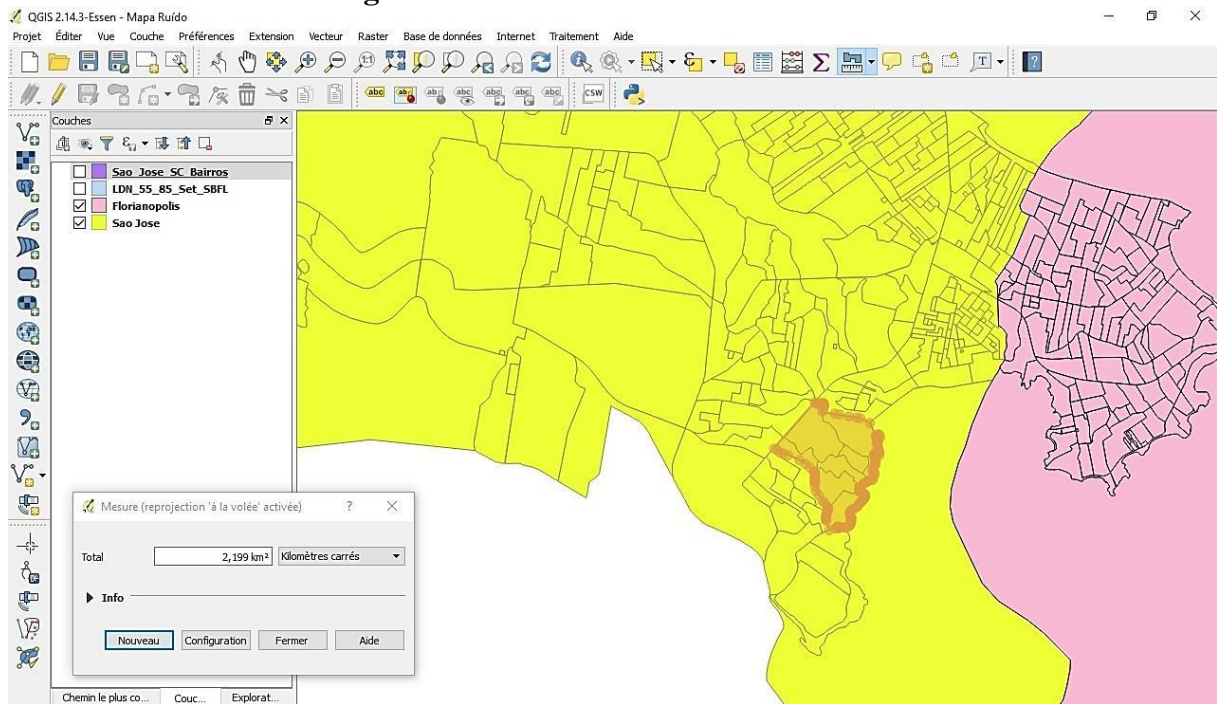
SMITH, Michael. **Aircraft Noise**. UK: Cambridge University Press, 2004. 372 p.

World Health Organization: Regional Office for Europe. **Burden of disease from environmental noise**: Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, 2011. 126 p.

ZAPOROZHETS, Oleksandr; TOKAREV, Vadim; ATTENBOROUGH, Keith. **Aircraft noise: Assessment, prediction and control**. USA: Spon Press, 2011. 433p.

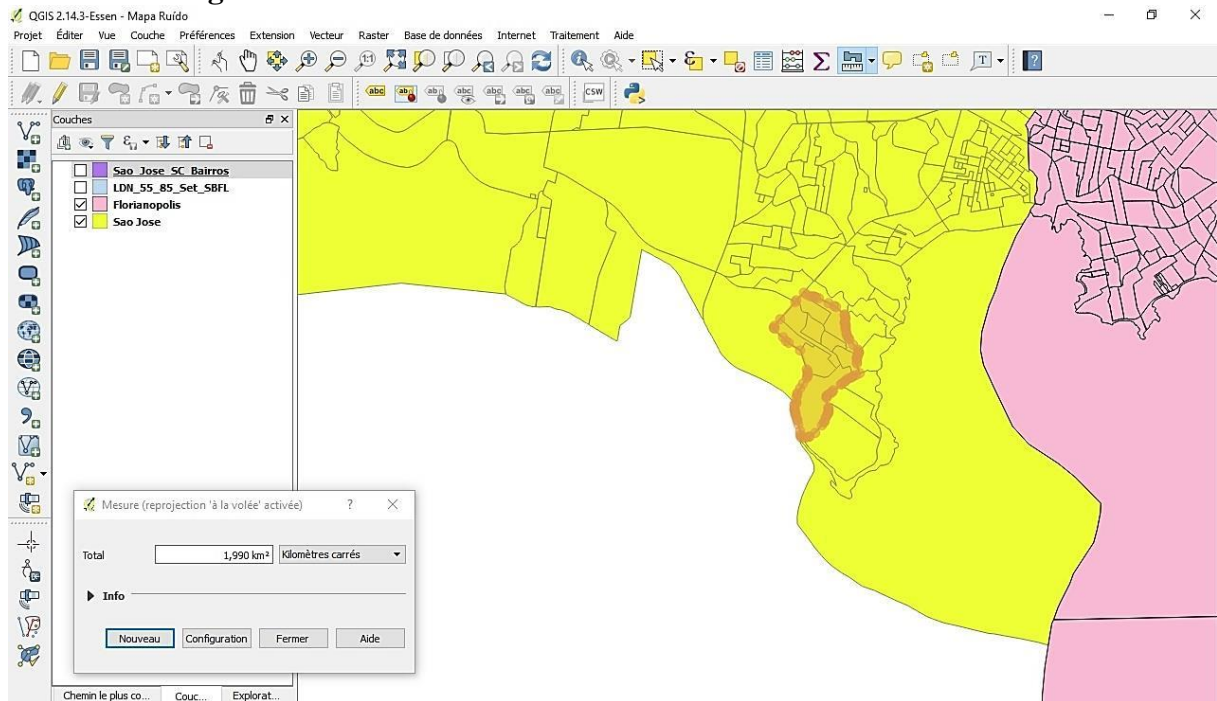
APÊNDICE A – Áreas mensuradas utilizando-se QGIS

Figura A.1 – Área do Centro de São José



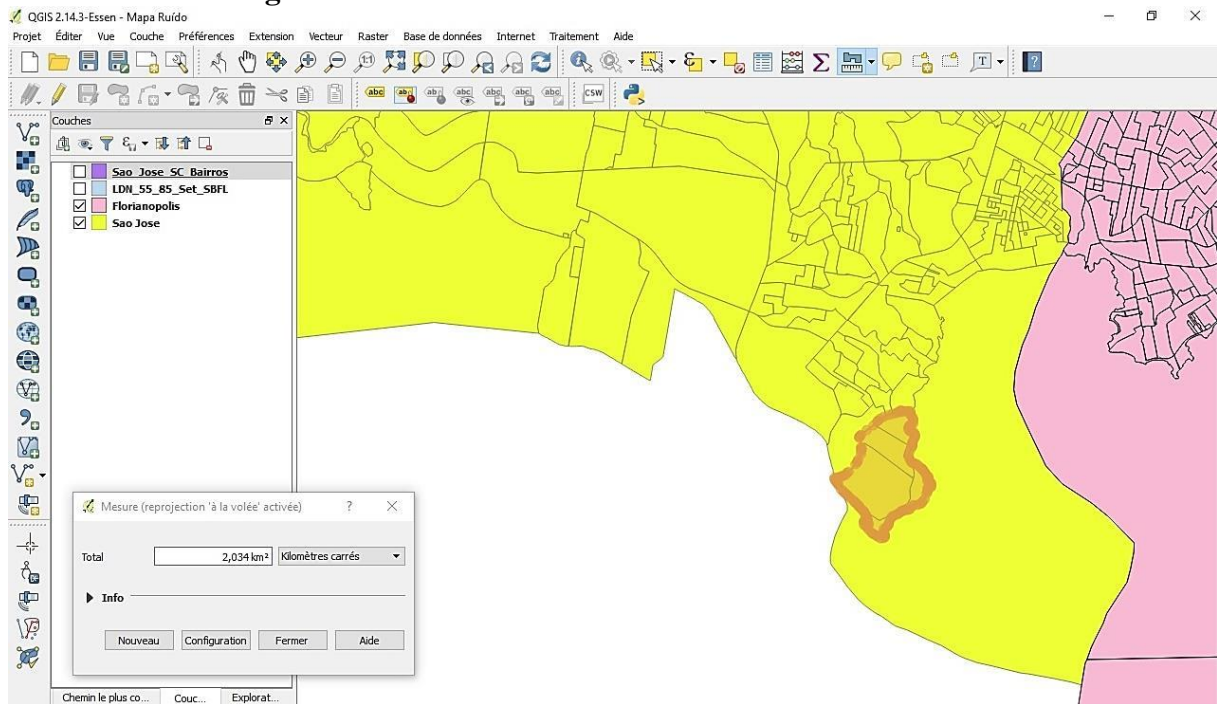
Fonte: Autoria própria.

Figura A.2 – Área do bairro Fazenda Santo Antônio – São José.



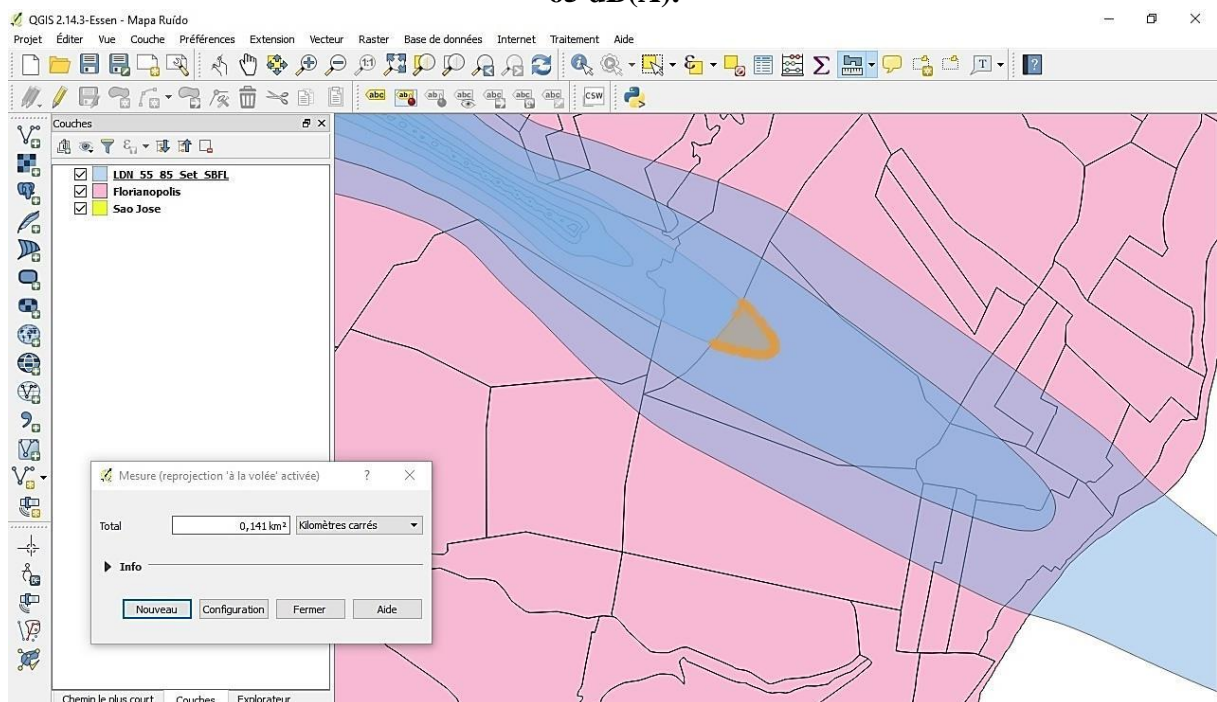
Fonte: Autoria própria.

Figura A.3 – Área do bairro Ponta de Baixo – São José.



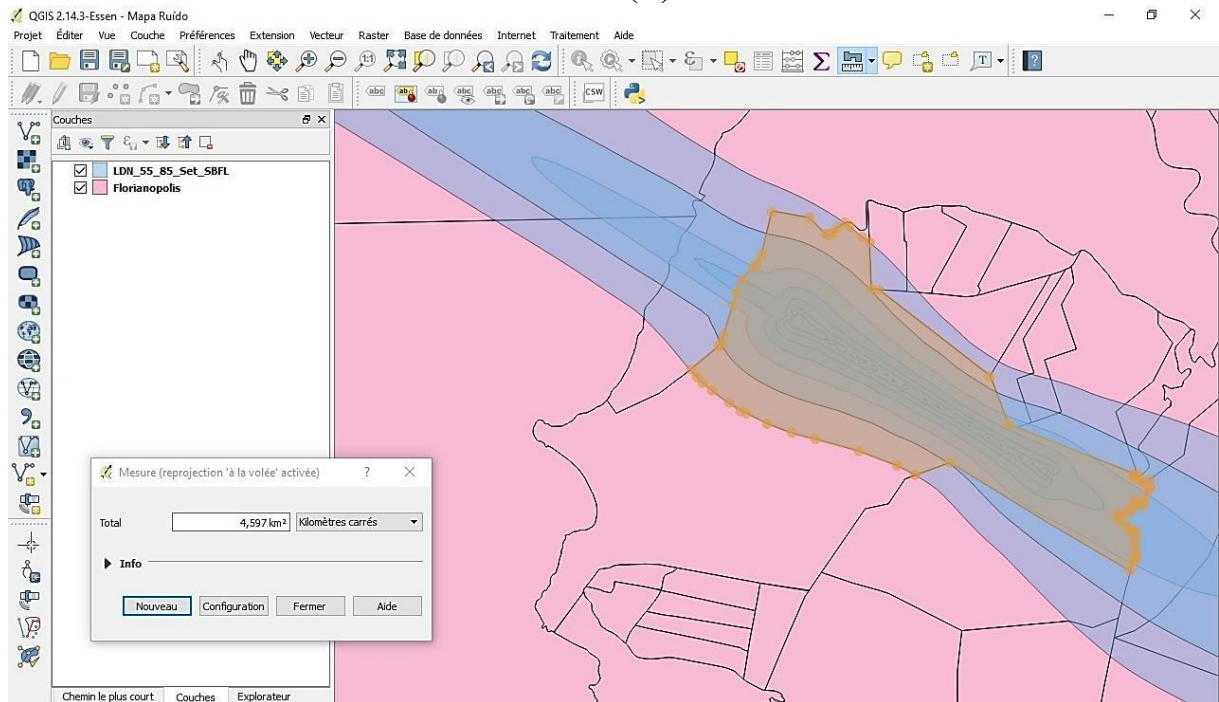
Fonte: Autoria própria.

Figura A.4 – Área do bairro Autódromo (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 65 dB(A).



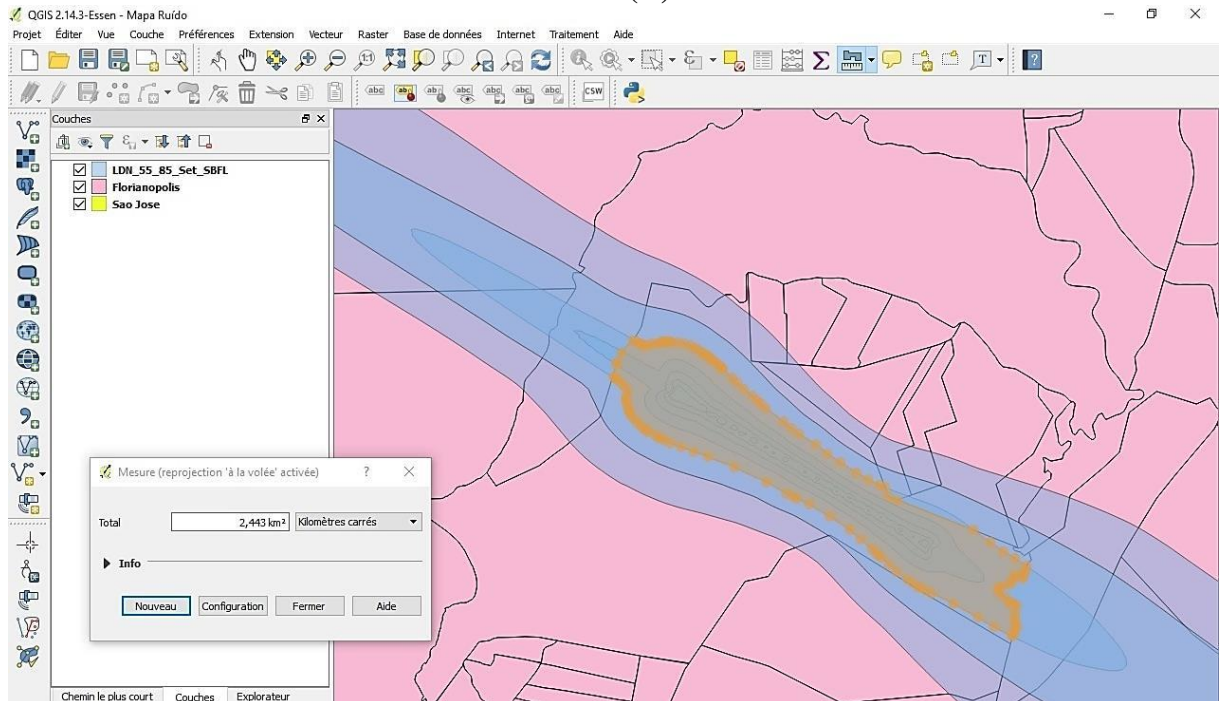
Fonte: Autoria própria.

Figura A.5 – Área do bairro Base Aérea (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



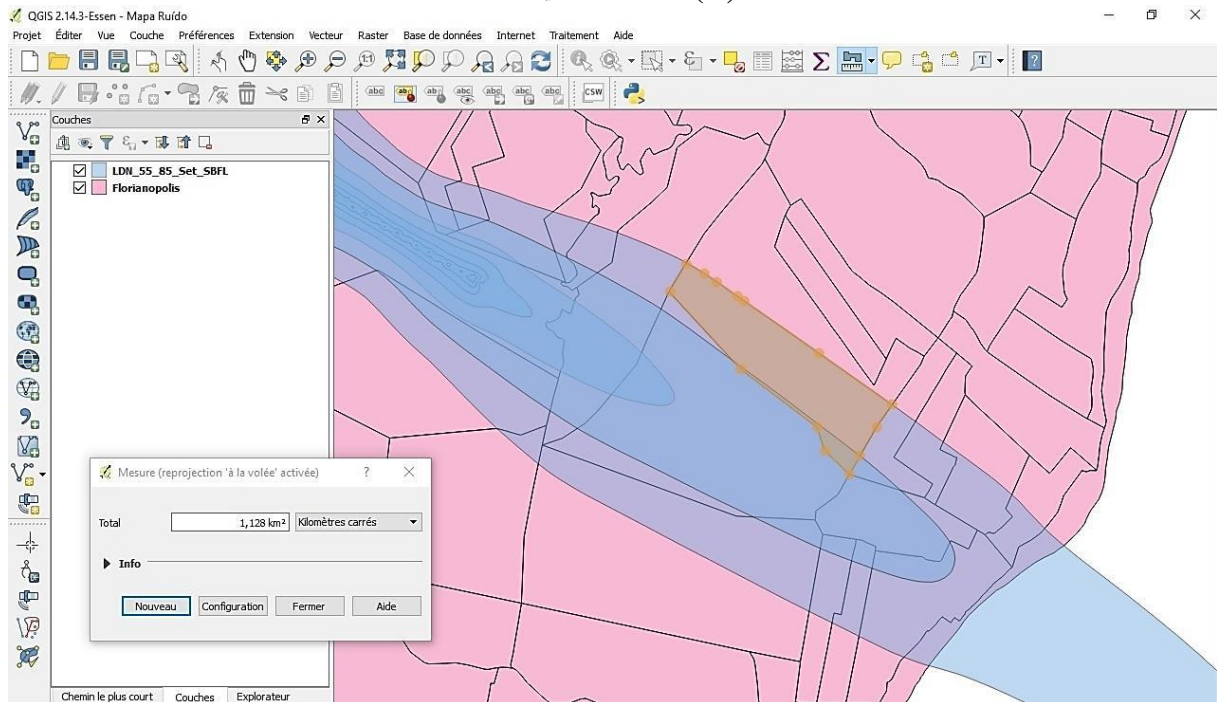
Fonte: Autoria própria.

Figura A.6 – Área do bairro Base Aérea (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 65 dB(A).



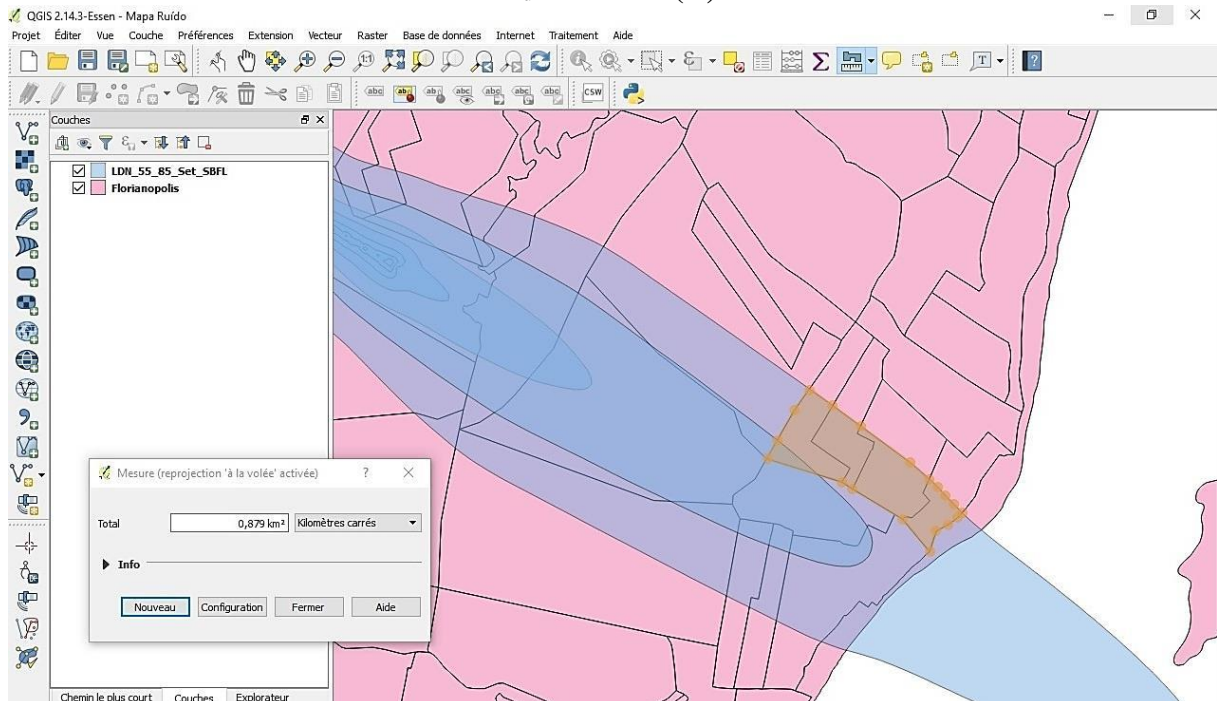
Fonte: Autoria própria.

Figura A.7 – Área do bairro Campeche Central (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



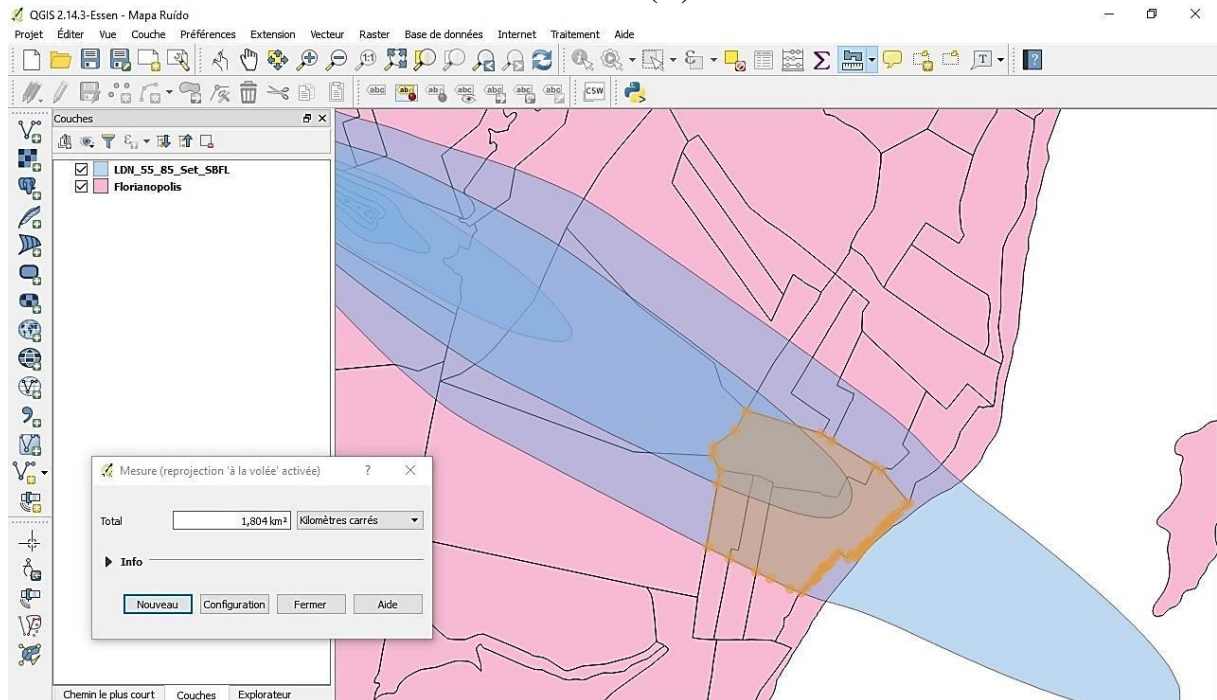
Fonte: Autoria própria.

Figura A.8 – Área do bairro Campeche Leste (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



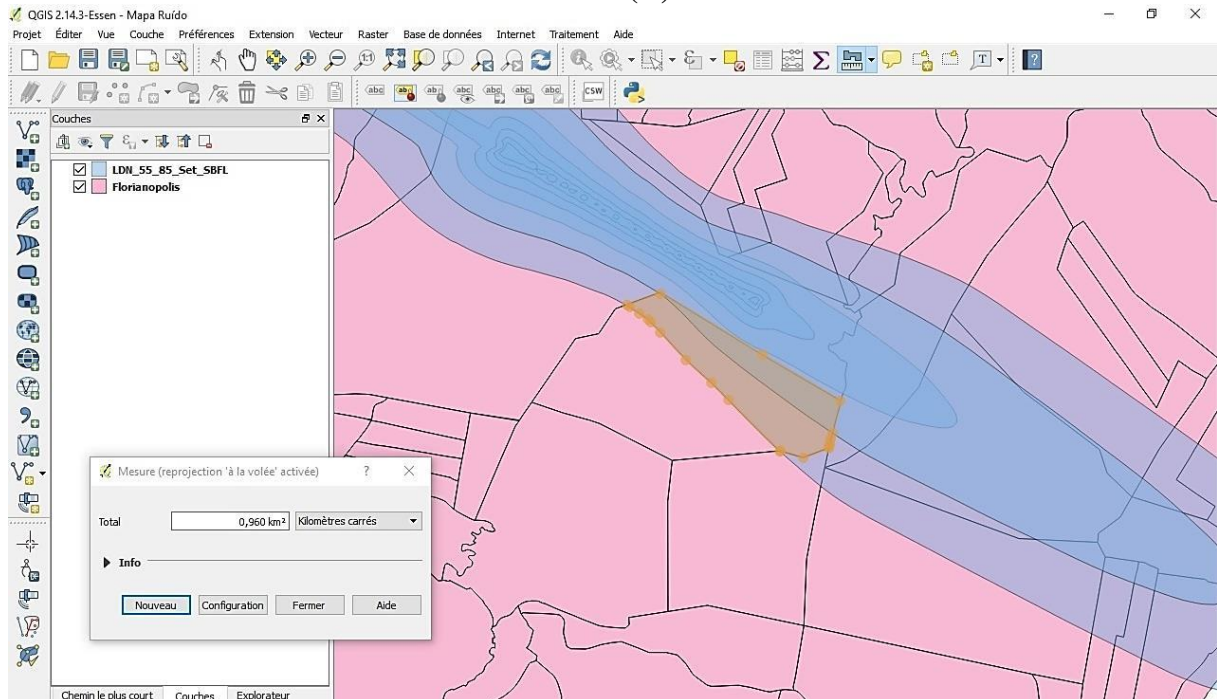
Fonte: Autoria própria.

Figura A.9 – Área do bairro Campeche Sul (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



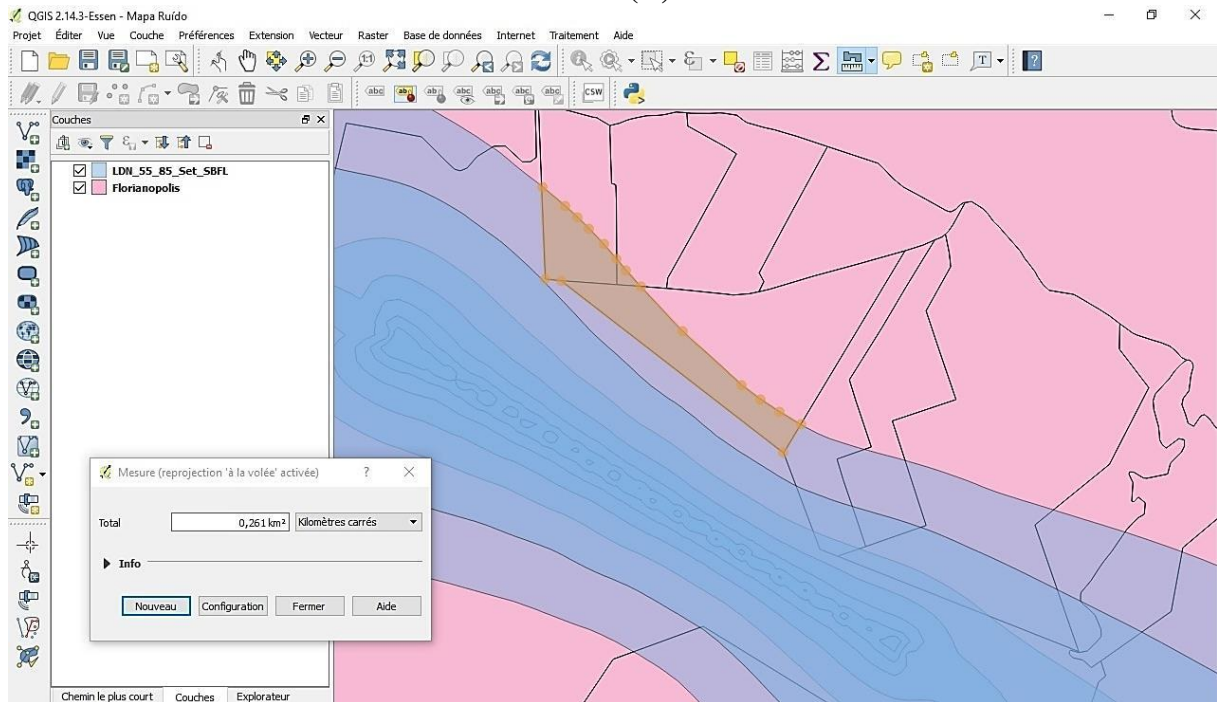
Fonte: Autoria própria.

Figura A.10 – Área do bairro Campus (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



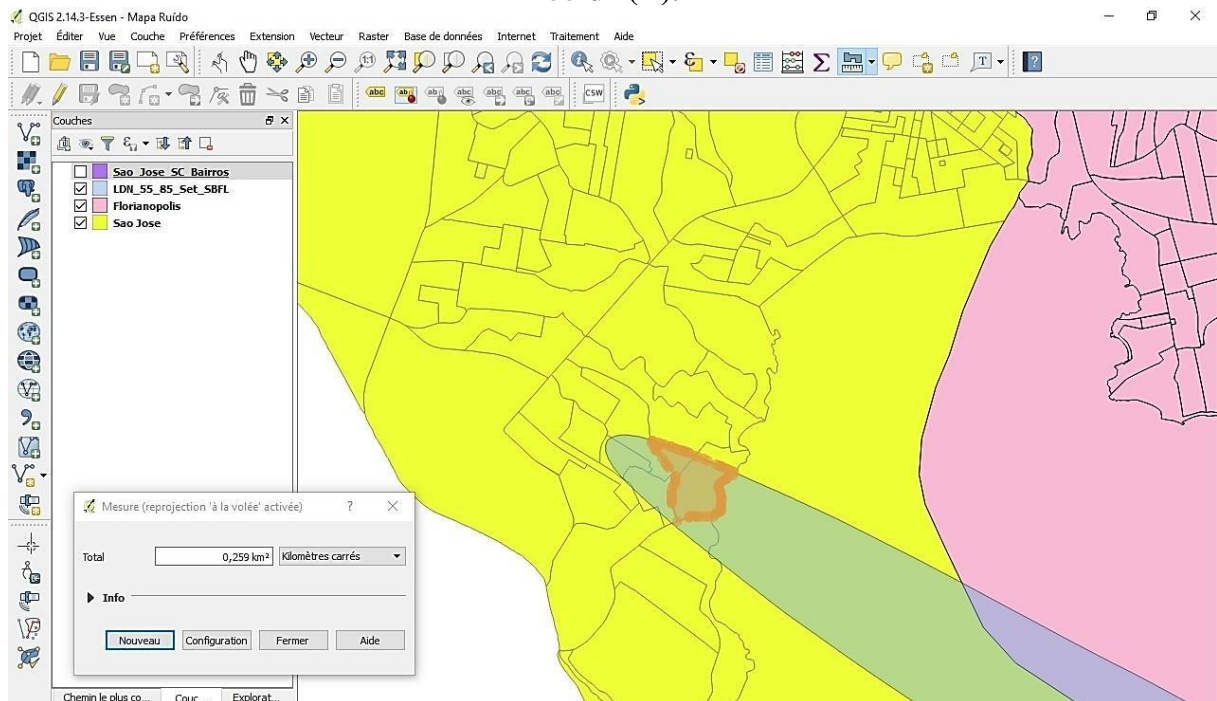
Fonte: Autoria própria.

Figura A.11 – Área do bairro Carianos (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



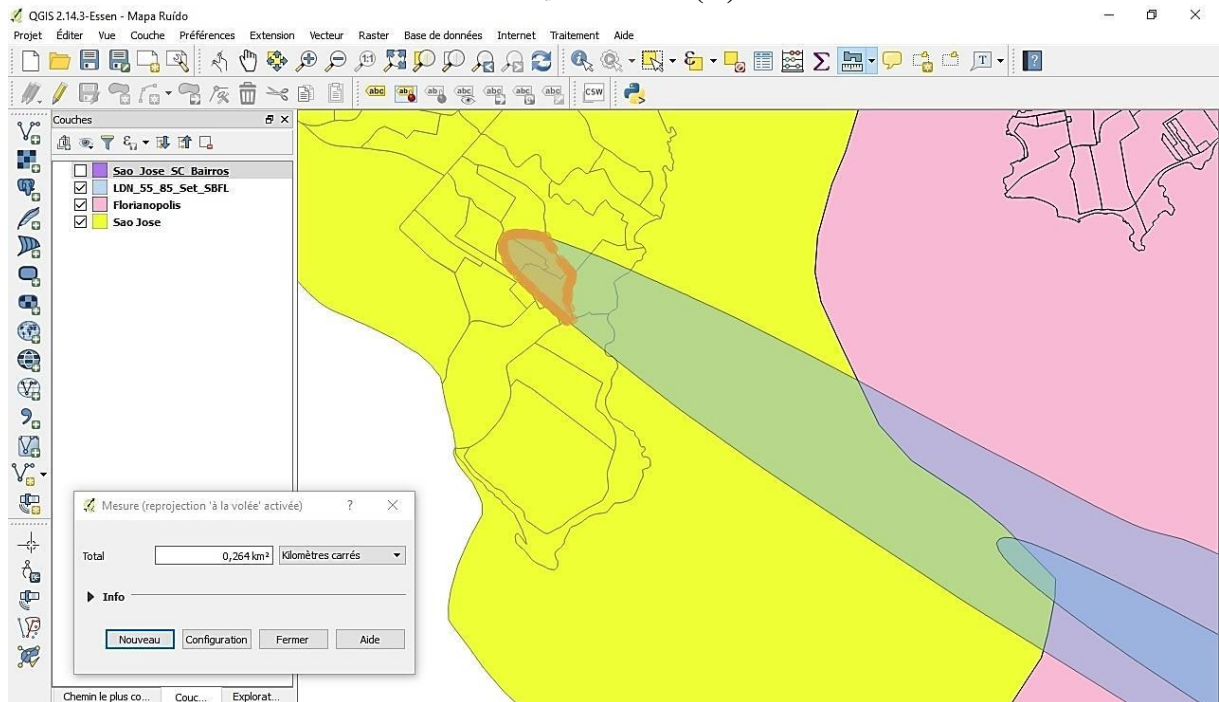
Fonte: Autoria própria.

Figura A.12 – Área do bairro Centro (São José) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



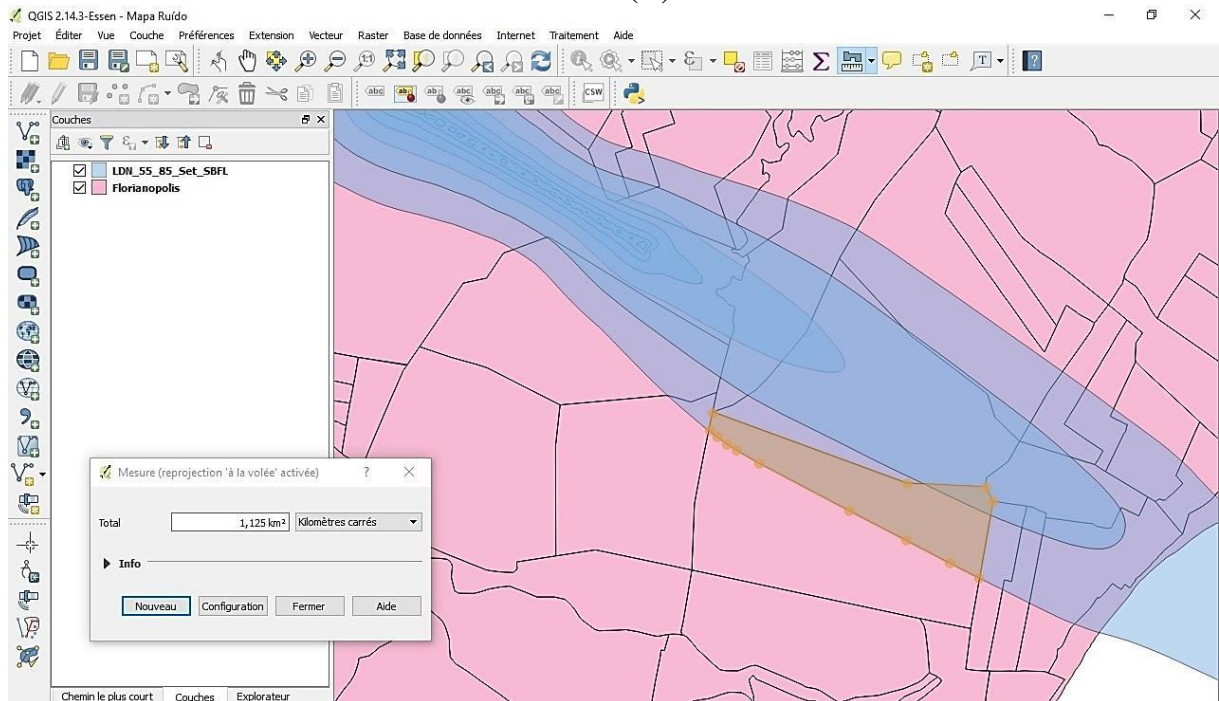
Fonte: Autoria própria.

Figura A.13 – Área do bairro Fazenda Santo Antônio (São José) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



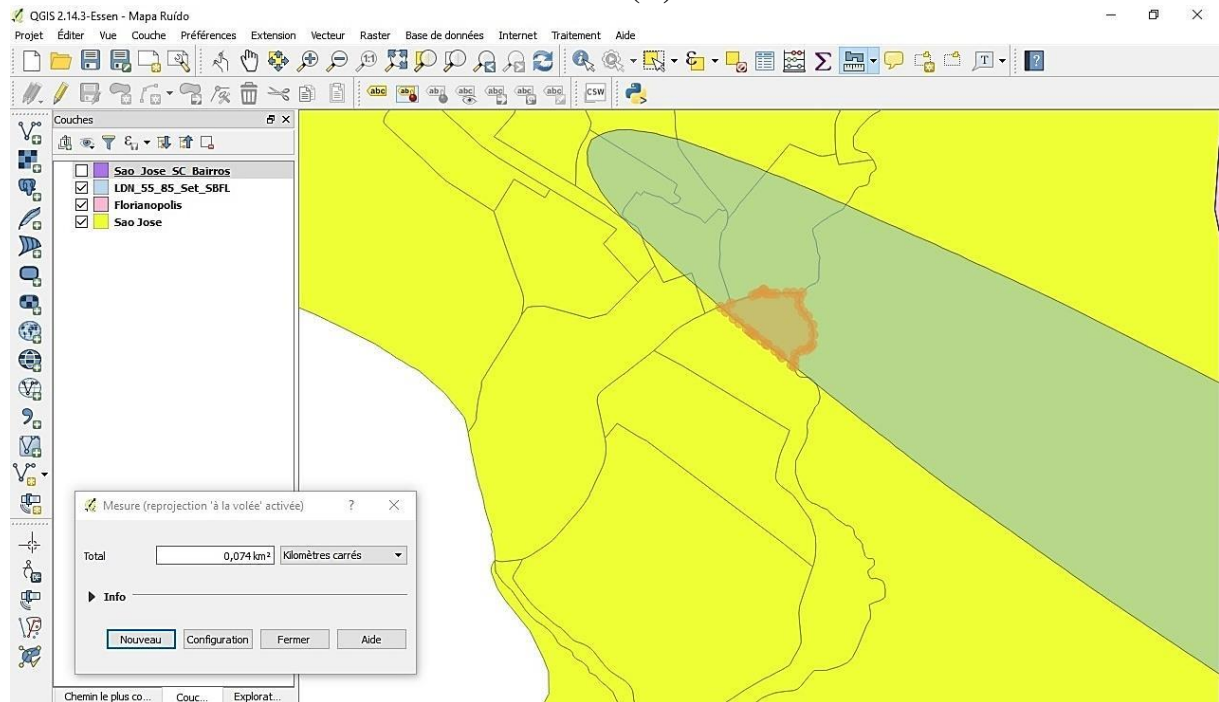
Fonte: Autoria própria.

Figura A.14 – Área do bairro Moenda (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



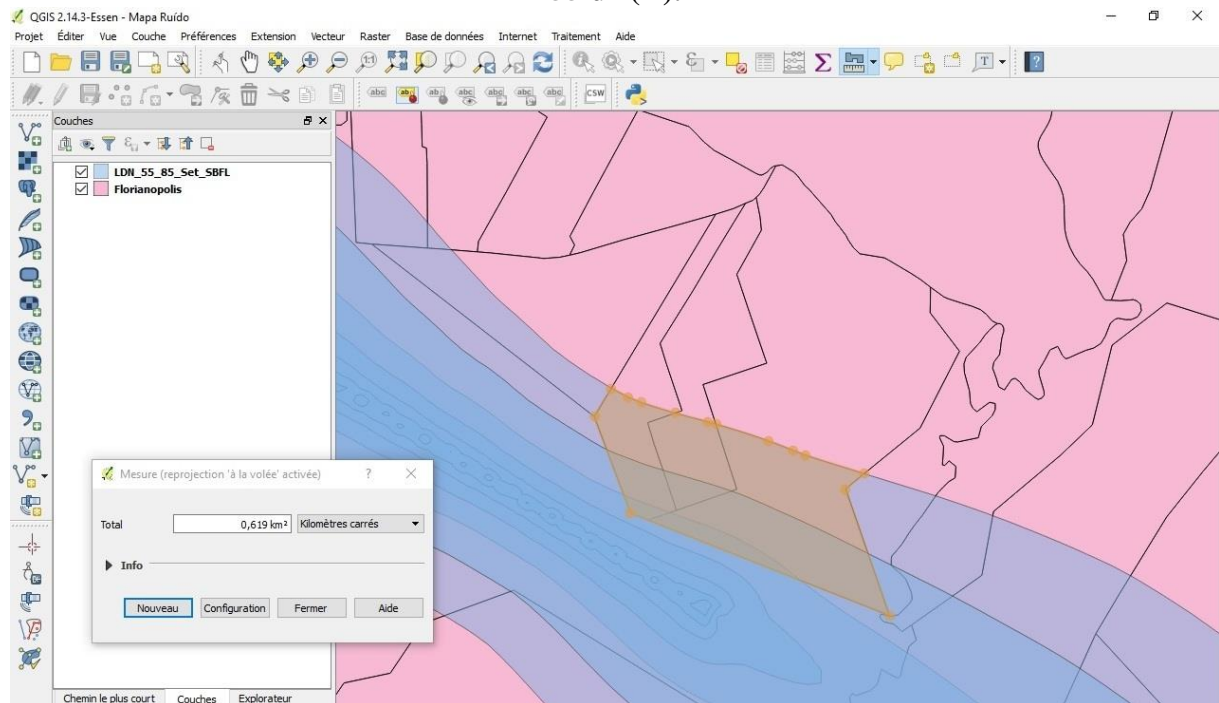
Fonte: Autoria própria.

Figura A.15 – Área do bairro Ponta de Baixo (São José) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



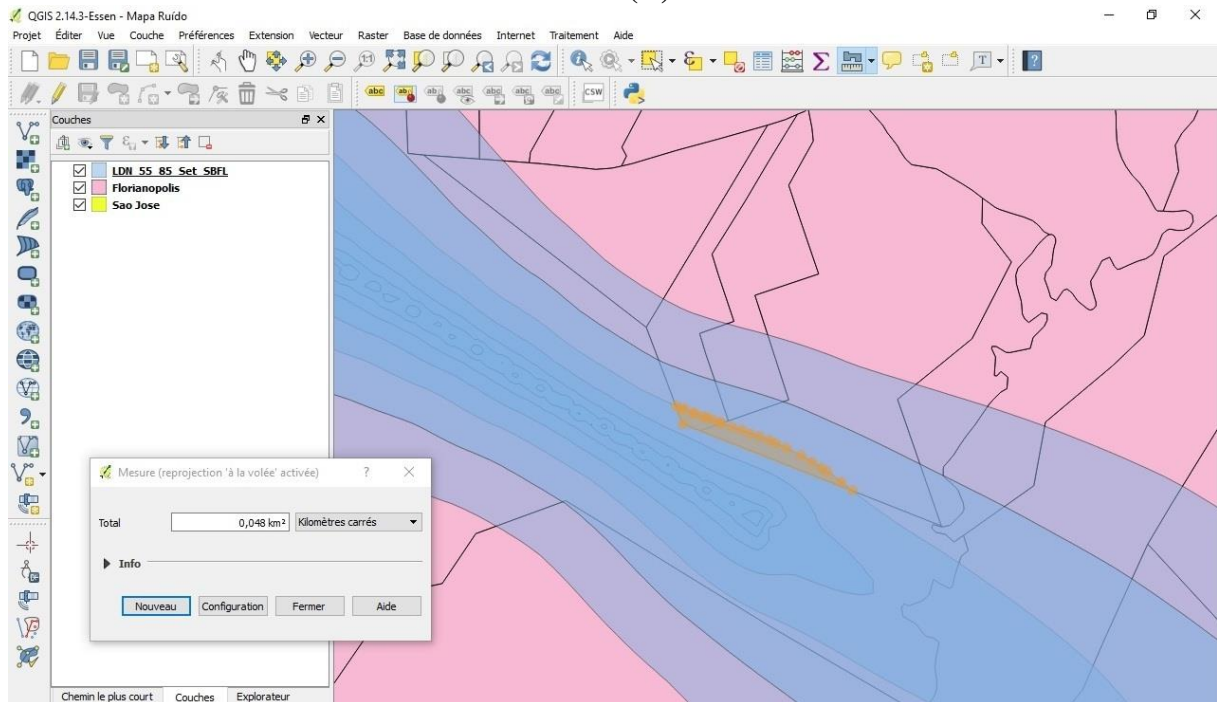
Fonte: Autoria própria.

Figura A.16 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 55 dB(A).



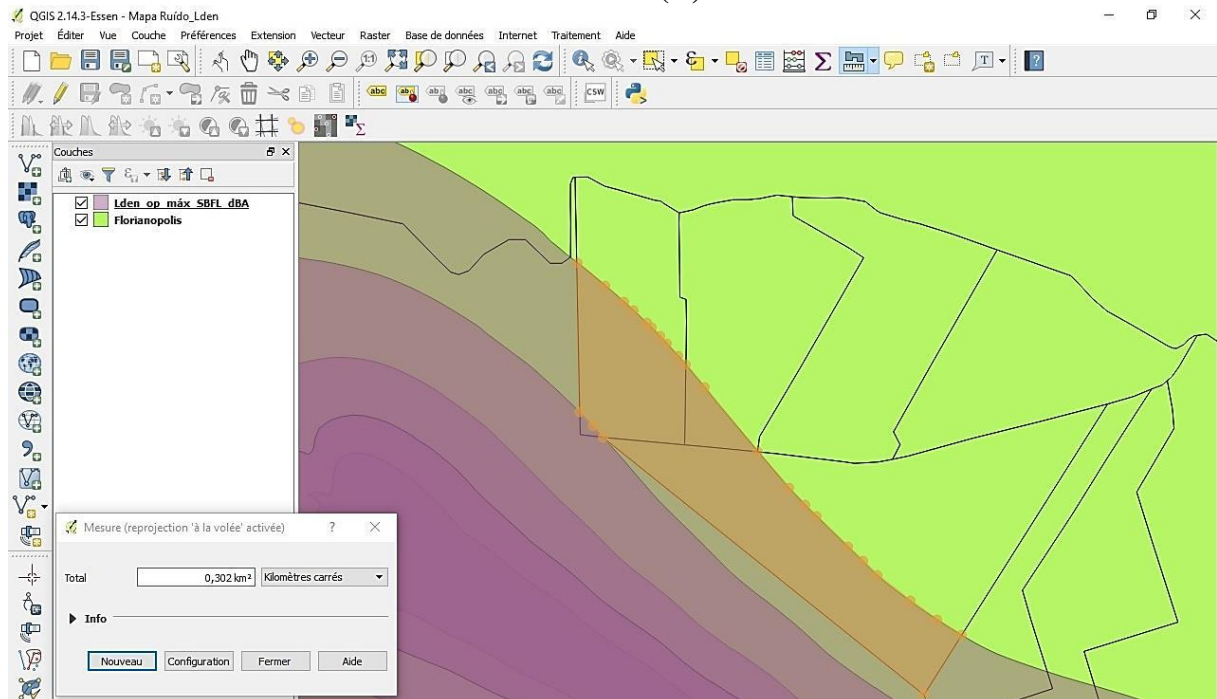
Fonte: Autoria própria.

Figura A.17 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{dn} de 65 dB(A).



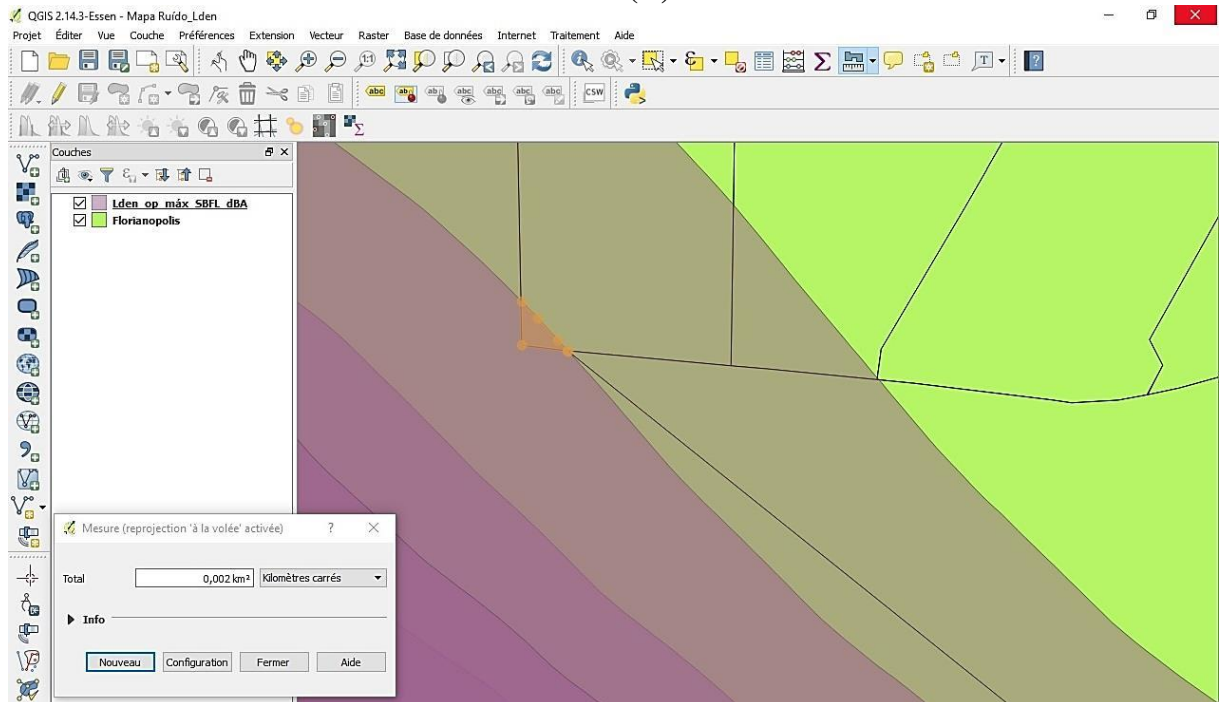
Fonte: Autoria própria.

Figura A.18 – Área do bairro Carianos (Florianópolis) entre as CCR de L_{den} de 55 e 60 dB(A).



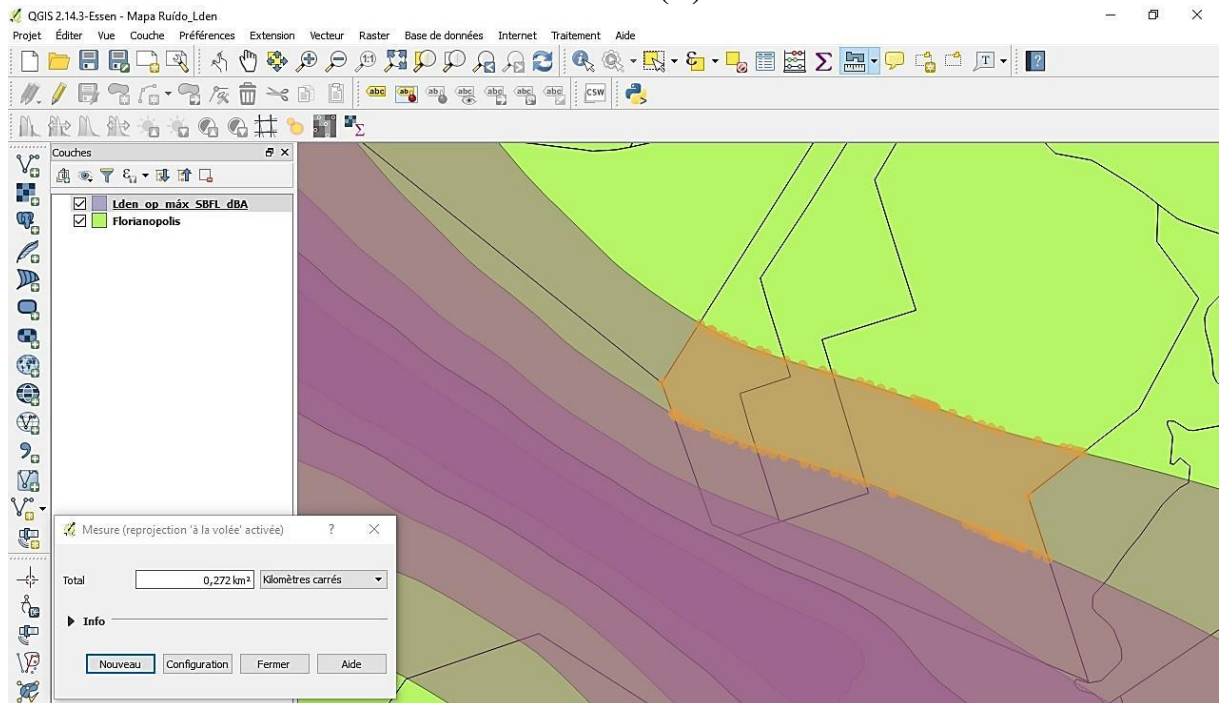
Fonte: Autoria própria.

Figura A.19 – Área do bairro Carianos (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{den} de 60 dB(A).



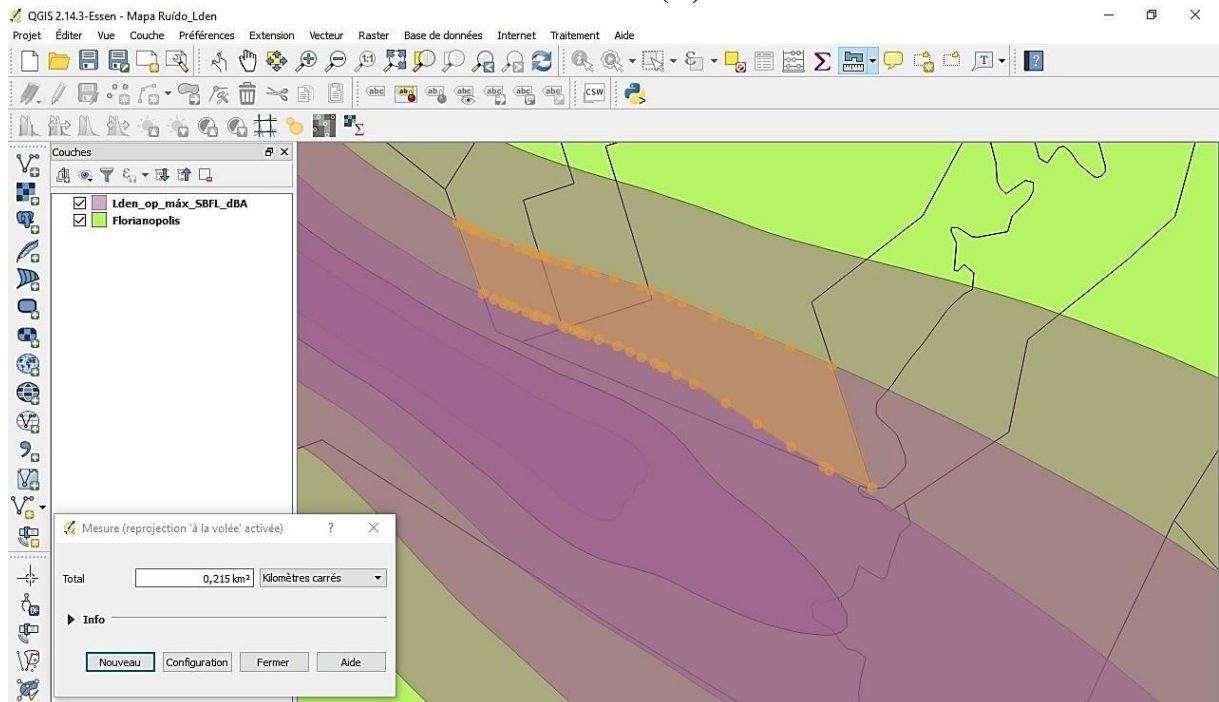
Fonte: Autoria própria.

Figura A.20 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) entre as CCR de L_{den} de 55 e 60 dB(A).



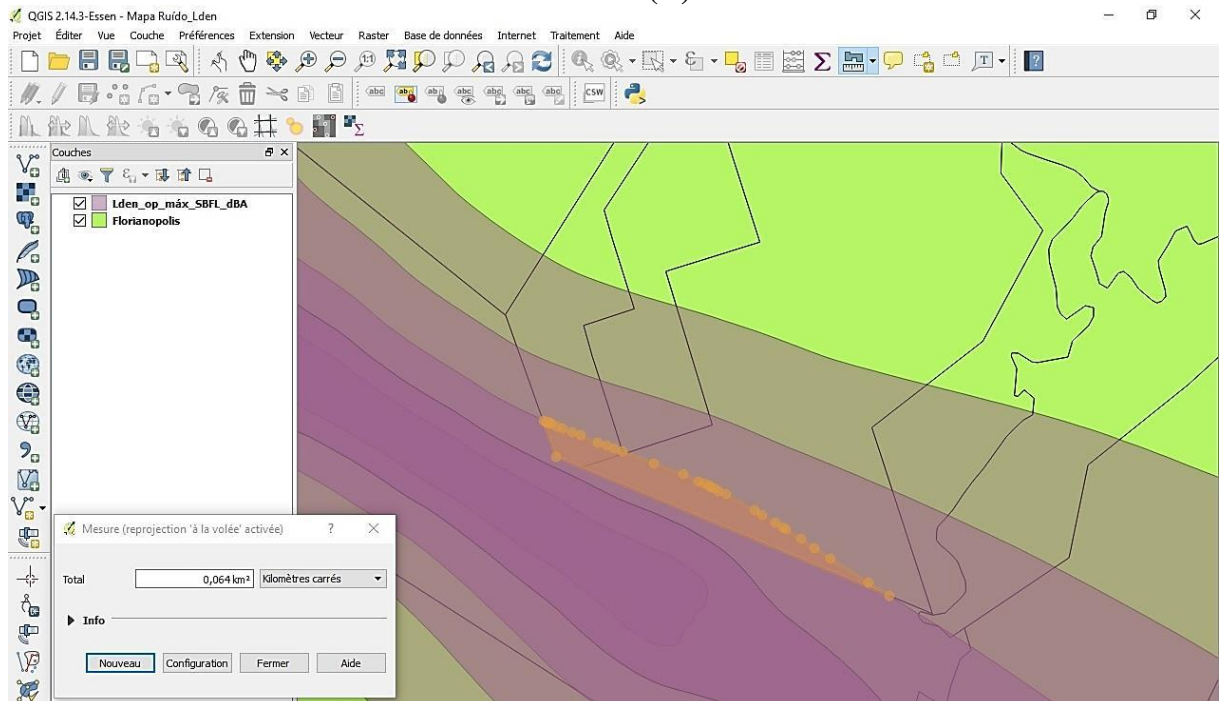
Fonte: Autoria própria.

Figura A.21 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) entre as CCR de L_{den} de 60 e 65 dB(A).



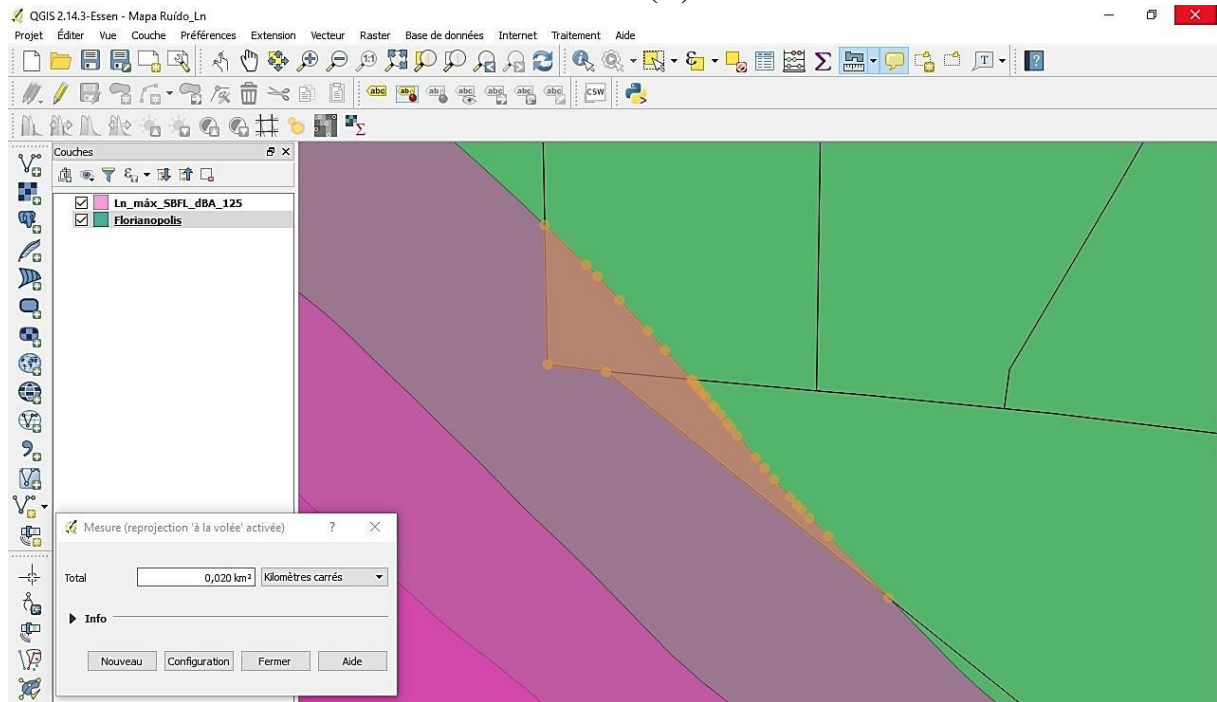
Fonte: Autoria própria.

Figura A.22 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{den} de 65 dB(A).



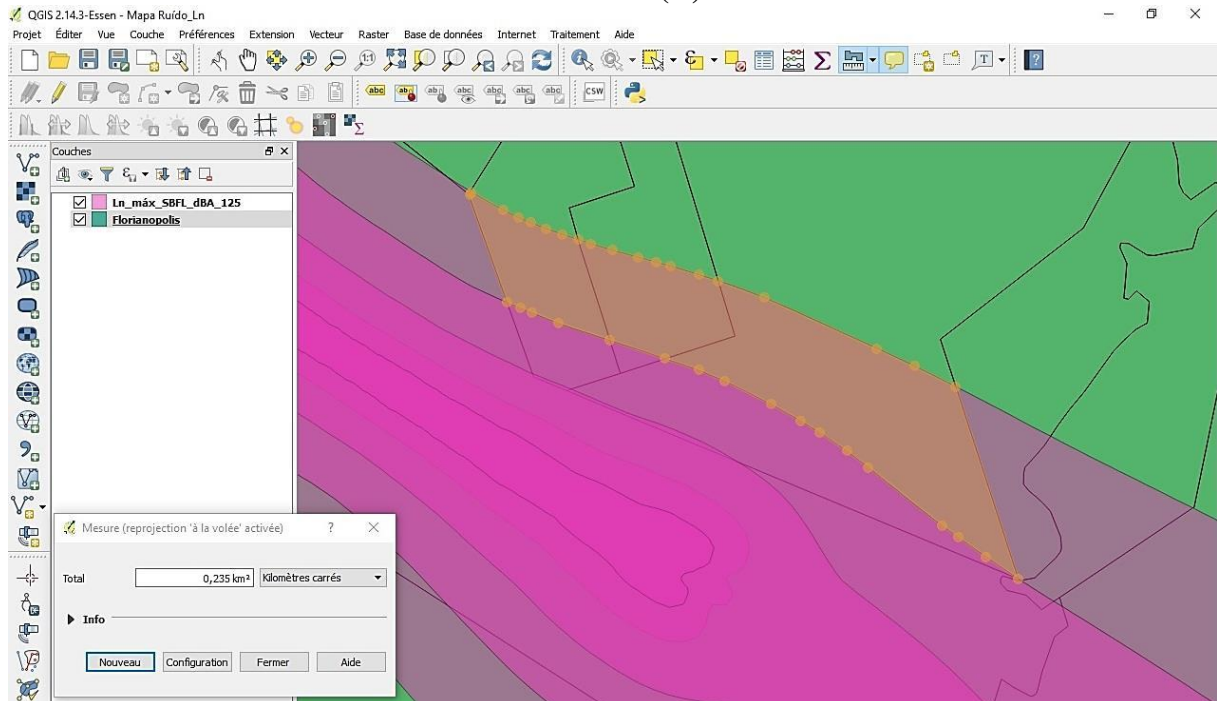
Fonte: Autoria própria.

Figura A.23 – Área do bairro Carianos (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{night} de 50 dB(A).



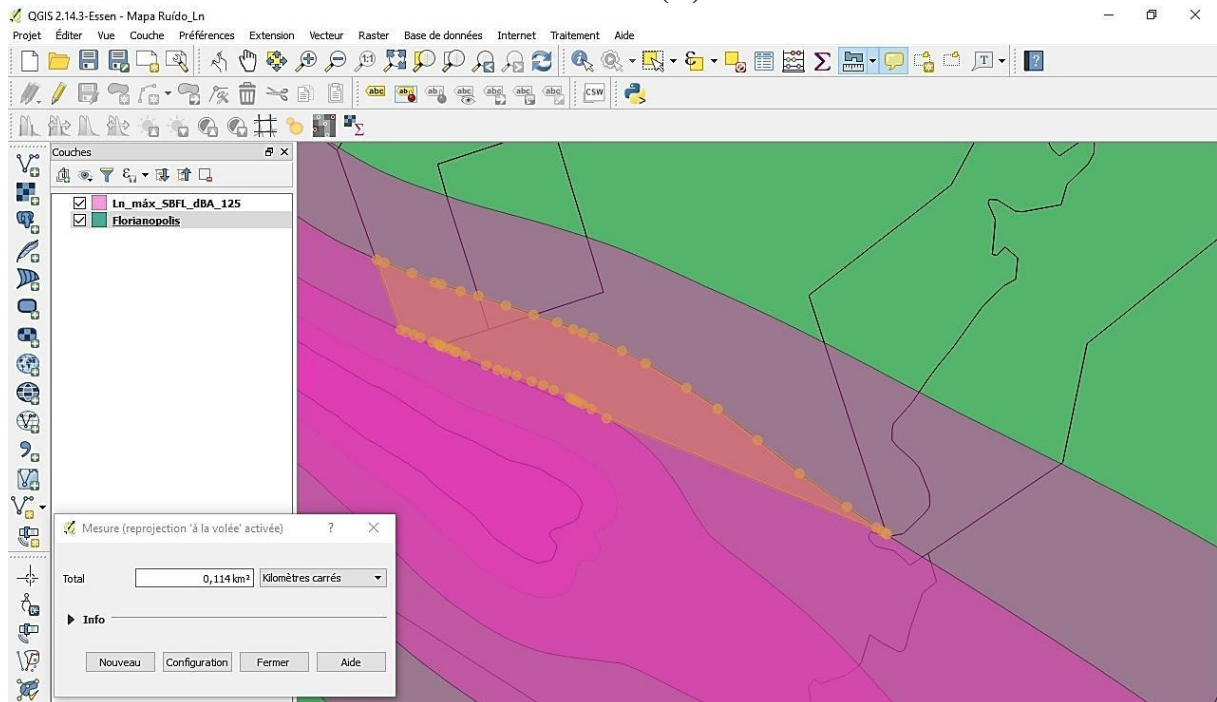
Fonte: Autoria própria.

Figura A.24 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) entre as CCR de L_{night} de 50 e 55 dB(A).



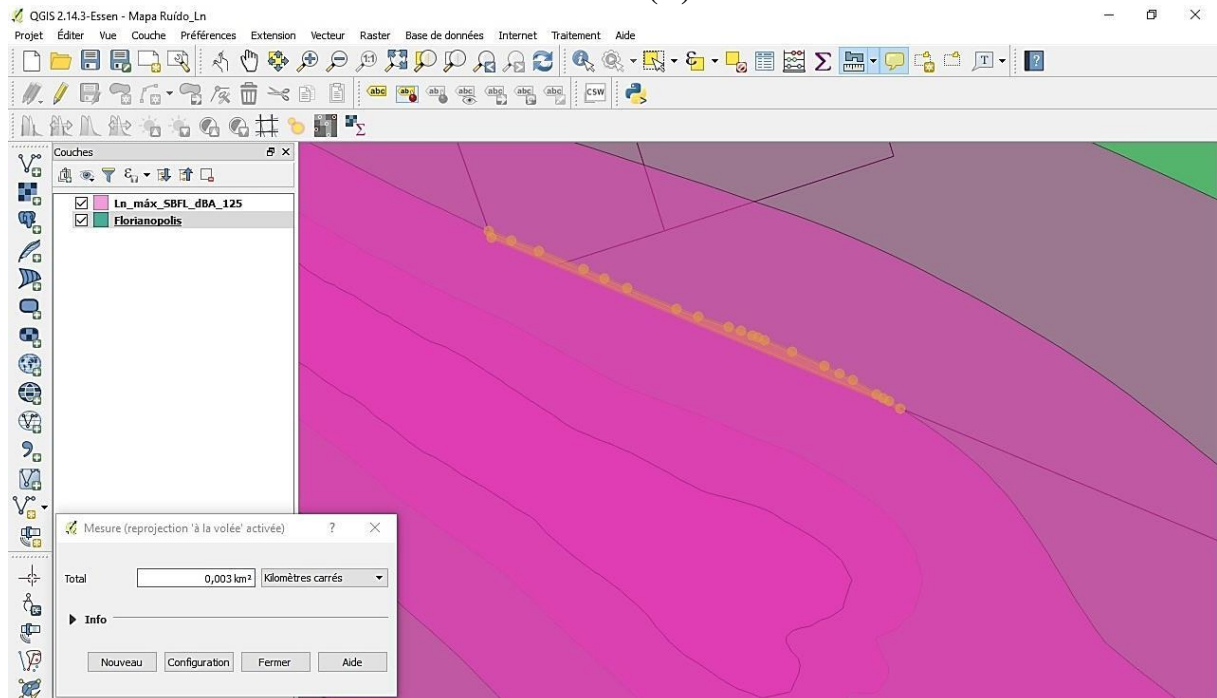
Fonte: Autoria própria.

Figura A.25 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) entre as CCR de L_{night} de 55 e 60 dB(A).



Fonte: Autoria própria.

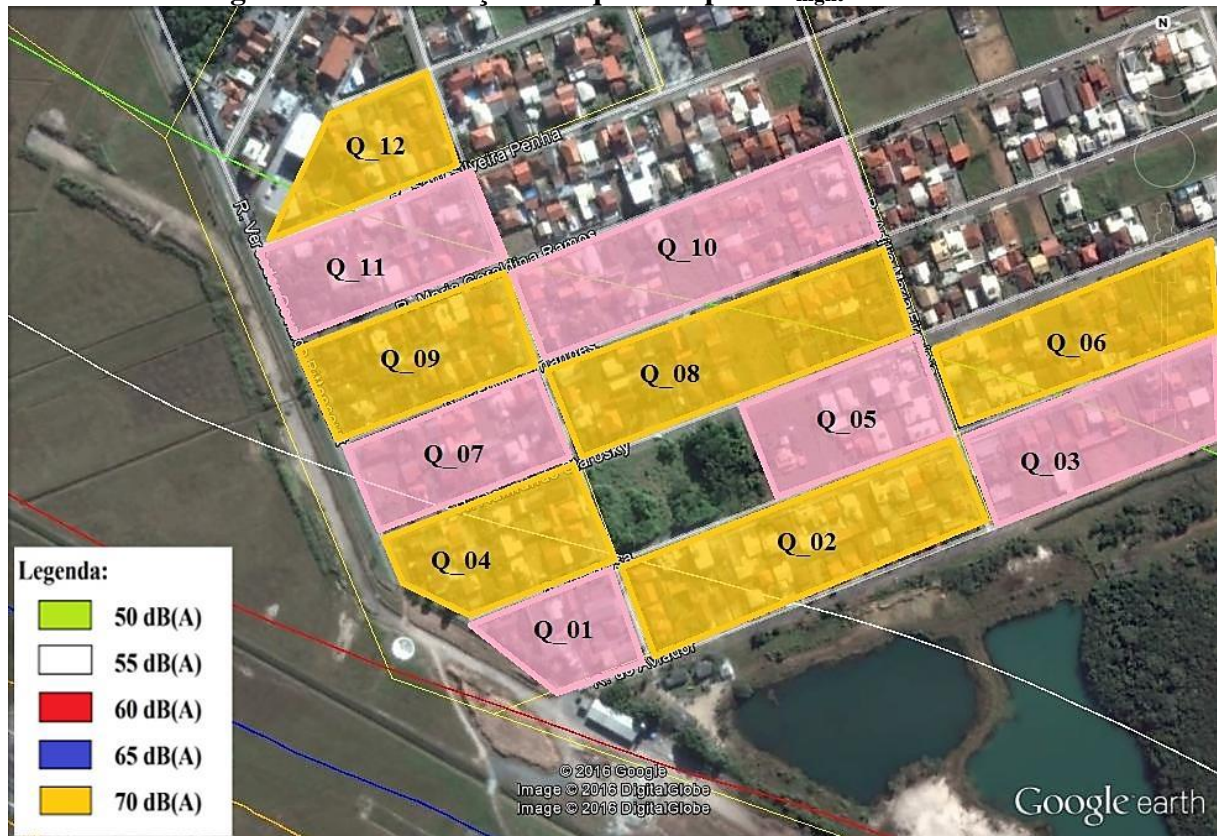
Figura A.26 – Área do bairro Ressacada (Florianópolis) intersectada pela CCR de L_{night} de 65 dB(A).



Fonte: Autoria própria.

**APÊNDICE B – Numeração de quadras para quantificar edificações nos
bairros Carianos e Ressacada**

Figura B.3 – Numerção das quadras para L_{night} – Ressacada.



Fonte: Autoria própria.

**APÊNDICE C – Número de edificações residenciais por quadra em cada
faixa de nível de exposição sonora nos bairros Carianos e Ressacada**

Quadro C.1 – Número de edificações residenciais por quadra em cada faixa de nível de exposição sonora nos bairros Carianos e Ressacada, L_{den} .

Quadra	Número de edificações residenciais expostas		
	55 a 59 dB(A)	60 a 64 dB(A)	65 a 69 dB(A)
Ressacada			
Q_01	0	3	8
Q_02	0	38	0
Q_03	17	0	0
Q_04	8	0	0
Q_05	0	15	3
Q_06	0	0	0
Q_07	8	3	0
Q_08	34	0	0
Q_09	4	0	0
Q_10	0	16	0
Q_11	25	5	0
Q_12	24	0	0
Q_13	7	15	0
Q_14	33	0	0
Q_15	17	0	0
Q_16	19	2	0
Q_17	33	0	0
Q_18	14	0	0
Q_19	21	0	0
Q_20	2	0	0
Q_21	3	0	0
Q_22	6	0	0
Q_23	15	0	0
Q_24	10	0	0
Total Ressacada	300	97	11

Carianos			
Q_25	3	0	0
Q_26	1	0	0
Q_27	11	0	0
Q_28	2	0	0
Q_29	17	0	0
Q_30	7	0	0
Q_31	9	0	0
Q_32	14	0	0
Q_33	14	0	0
Q_34	17	0	0
Q_35	19	0	0
Q_36	7	0	0
Q_37	9	0	0
Q_38	10	0	0
Q_39	16	0	0
Q_40	21	0	0
Q_41	22	0	0
Q_42	38	0	0
Q_43	4	0	0
Q_44	14	0	0
Q_45	3	0	0
Total Carianos	258	0	0

Fonte: Autoria própria.

Quadro C.2 – Número de edificações residenciais por quadra em cada faixa de nível de exposição sonora no bairro Ressacada, L_{night} .

Quadra	Número de edificações residenciais expostas	
	50 a 54 dB(A)	55 a 59 dB(A)
Q_01	0	11
Q_02	27	11
Q_03	7	0
Q_04	5	13
Q_05	11	0
Q_06	5	0
Q_07	11	15
Q_08	21	0
Q_09	22	0
Q_10	13	0
Q_11	17	0
Q_12	2	0
Q_13	2	0
Q_14	3	0
Total	146	50

ANEXO A – Quadro E-2 da RBAC 161 (2013)

TABELA E-2- Usos compatíveis e incompatíveis para áreas abrangidas por PEZR.

Uso do Solo	Nível de Ruído Médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Acima de 85
Residencial						
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Alojamentos Temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N (1)	N	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Usos Públicos						
Educacional (exemplos: Universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou empreendimentos equivalentes)	S	25	30	N	N	N
Igrejas, auditórios e salas de Concerto (exemplos: igrejas, templos, associações religiosas, centros culturais, museus, galerias de arte, cinemas, teatros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	30	N	N	N
Serviços governamentais (exemplos: postos de atendimento, correios, aduanas ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
Transportes (exemplos: terminais rodoviários, ferroviários, aeroportuários, marítimos, de carga e passageiros ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	35
Estacionamentos (exemplo: edifício garagem ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	N

Usos Comerciais e serviços						
Escritórios, negócios e profissional liberal (exemplos: escritórios, salas e salões comerciais, consultórios ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
Comércio atacadista - materiais de construção, equipamentos de grande porte	S	S	25	30	35	N
Comércio varejista	S	S	25	30	N	N
Serviços de utilidade pública (exemplos: cemitérios, crematórios, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água, geração e distribuição de energia elétrica, Corpo de Bombeiros ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	N
Serviços de comunicação (exemplos: estações de rádio e televisão ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
Usos Industriais e de Produção						
Indústrias em geral	S	S	25	30	35	N
Indústrias de precisão (Exemplo: fotografia, óptica)	S	S	25	30	N	N
Agricultura e floresta	S	S (2)	S (3)	S (4)	S (4)	S (4)
Criação de animais, pecuária	S	S (2)	S (3)	N	N	N
Mineração e pesca (Exemplo: produção e extração de recursos naturais)	S	S	S	S	S	S
Usos Recreacionais						
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	S	N	N	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N	N	N	N
Exposições agropecuárias e zoológicos	S	S	N	N	N	N
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	S	N	N	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	S	25	30	N	N

Notas da Quadro E-2:

S (Sim) = usos do solo e edificações relacionadas compatíveis sem restrições.

N (Não) = usos do solo e edificações relacionadas não compatíveis.

25, 30, 35 = usos do solo e edificações relacionadas geralmente compatíveis. Medidas para atingir uma redução de nível de ruído – RR de 25, 30 ou 35 dB devem ser incorporadas no projeto/construção das edificações onde houver permanência prolongada de pessoas.

(1) Sempre que os órgãos determinarem que os usos devam ser permitidos, devem ser adotadas medidas para atingir uma RR de pelo menos 25 dB.

(2) Edificações residenciais requerem uma RR de 25 dB.

(3) Edificações residenciais requerem uma RR de 30 dB.

(4) Edificações residenciais não são compatíveis.